

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

DISEÑO DE UN SISTEMA DOMÓTICO PARA FACILITAR LA INTERACCIÓN DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD A TRAVÉS DE INTERFACES REMOTAS Y MANDOS POR VOZ

AUTORES:

ESTEBAN ADRIÁN FARFÁN REA
DIEGO DAVID QUIZHPE CHÉRREZ

DIRECTOR:

Dr. ISMAEL MINCHALA

Tesis previa a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

CUENCA - ECUADOR
2015-2016

RESUMEN

El principal objetivo del proyecto es diseñar e implementar un sistema domótico controlado de forma remota, web y reconocimiento de voz, destinado principalmente a personas con discapacidad, especialmente las físico-motora y visual. En el proyecto se utilizan dos tecnologías: LCN, marca reconocida mundialmente, y Arduino, plataforma de programación de código abierto.

Inicialmente, se realiza un estudio de las dificultades de las personas con discapacidad en el Ecuador que justifica el desarrollo del mismo. Además, se expone un breve estado del arte sobre sistemas domóticos diseñados e implementados. A continuación, se realiza un estudio de la arquitectura de la tecnología domótica, sus definiciones, características principales, etc. de las tecnologías LCN y Arduino.

Posteriormente, se diseña e implementa el sistema domótico para ambas tecnologías a utilizarse, tomando en cuenta las configuraciones necesarias para cada módulo o tarjeta central, así como sensores, actuadores y elementos restantes de control. También se realizaron pruebas de comunicación entre módulos a través del bus de datos, además de evaluar, detectar y corregir errores de rendimiento y funcionalidad, con el fin de proveer un sistema domótico acorde a los requerimientos demandados. A continuación, se desarrolla una interfaz en LabVIEW para el control del sistema domótico Arduino a través de comandos por voz. Los comandos por voz son capturados usando la API de reconocimiento de Google Chrome.

Finalmente, el proyecto presenta un análisis detallado sobre los costos que implica el uso de cada tecnología, además, del ahorro en el consumo de energía eléctrica que se logra con ellos. Dicho análisis brindará al usuario mayor información sobre el uso de la domótica y sus beneficios para las personas en general, especialmente las personas discapacitadas.

PALABRAS CLAVES

Discapacitado, domótica, automatización, LCN, Arduino, comandos por voz, HMI, control web, ahorro energético.



ABSTRACT

This research project presents the methodology of design of a domotic solution that facilitates the integration of persons with disabilities into the home. Four interfaces that allow the interaction of the user with the facilities in the home are developed: web-based interface, remote control interface, RFID interface, and voice commands interface.

Two different technologies have been used for developing this solution. The first one is a proprietary technology, which implements a single communication bus for interconnecting intelligent devices that manage the home facilities based on the previously programmed commands. The second one is an open hardware solution, developed by using the Arduino technology. Both technologies offer good results for the purposes of helping with the integration of persons with disabilities into the home. The main differences are the throughput and the price. The trade off between price and throughput is analyzed, and allows a proper selection of the technology that best meets the requirements of every person.

KEYWORDS

Disable, home automation, LCN, Arduino, voice commands, HMI, web control, energy saving.



INDICE GENERAL

RESUMEN	2
PALABRAS CLAVES	2
ABSTRACT	3
KEYWORDS	3
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	16
1.1 Introducción	17
1.2 Problemática	17
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 Análisis del estado del arte	19
1.5 Contribuciones de la tesis	21
CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL	22
2.1 Definiciones domóticas preliminares	23
2.1.1 Concepto de domótica	23
2.1.2 Clasificación de los sistemas de automatización de hogar	23
2.1.3 Tipos de arquitectura	24
2.1.4 Medios de transmisión	25
2.2 Sistemas de gestión	26
2.3 Tecnología LCN	27
2.3.1 Introducción	27
2.3.2 Ventajas del sistema LCN	28
2.3.3 Datos Técnicos	28
2.3.4 Funcionamiento	29
2.3.5 Notificaciones de control y aviso	29
2.3.6 Tipos de módulos	20
2.3.7 Conexiones para ampliaciones	30
2.3.8 Direccionamiento	30
2.3.9 Transferencia de datos	31
2.4 Tecnología ARDUINO	31
2.4.1 Conceptos y fundamentos de Arduino	31
2.4.2 Características de Arduino	31
2.4.2.1 Software de programación de Arduino	32
2.4.2.2 Hardware de Arduino	32



CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO	33
3.1 Diseño del producto	34
3.1.1 Análisis de resultados	34
3.1.2 Despliegue de la función de calidad	37
3.1.2.1 Definición y descripción	37
3.1.2.2 Aplicación del QFD	38
3.1.3 Desarrollo del concepto del producto	39
3.1.4 Árbol de conceptos	40
3.1.5 Solución generada para el sistema	42
3.2 Diseño y programación del sistema usando la tecnología LCN	44
3.3 Diseño y programación del sistema usando la tecnología Arduino	47
3.3.1 Arquitectura de comunicación	47
3.3.2 Funcionamiento del sistema	49
3.3.3 Esquema de conexión	50
3.4 Control y monitoreo del sistema domótico Arduino desde el HMI de LabVIEW	53
 CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE COMANDOS DE VOZ	 77
4.1 Desarrollo e implementación del algoritmo	58
4.1.1 Introducción	58
4.1.2 Reconocimiento de voz usando Web Speech API	58
4.1.2.1 Concepto de la Web Speech API	59
4.1.2.2 Compatibilidad del navegador	59
4.1.2.3 Propiedades y métodos fundamentales	59
4.1.3 Lectura y ejecución de comandos por voz mediante LabVIEW	62
4.2 Pruebas del algoritmo de SRCV	63
 CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DOMÓTICO	 65
5.1 Pruebas de funcionamiento del sistema domótico usando la tecnología LCN	66
5.1.1 Conexión de módulos	66
5.1.2 Prueba de comunicación entre módulos	66
5.1.3 Pruebas del control infrarrojo	67
5.1.4 Pruebas de sensores	68
5.1.4.1 Sensor de luz	68
5.1.4.2 Sensor de temperatura	69
5.2 Pruebas de funcionamiento del sistema domótico usando la tecnología Arduino	69
5.2.1 Pruebas del módulo inalámbrico nRF24L01	69

5.2.2 Pruebas del sensor de luz	69
5.2.3 Pruebas del receptor IR	70
5.2.4 Pruebas de la pantalla táctil TFT LCD 2.8"	71
5.2.5 Pruebas del funcionamiento integral del sistema domótico	71

CAPITULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA Y VENTAJAS EN LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO 76

6.1 Análisis de costos de equipamiento de una red domótica media	76
6.1.1 Análisis de costos del sistema usando la tecnología LCN	76
6.1.2 Análisis de costos del sistema usando la tecnología Arduino	76
6.2 Análisis de consumo energético de una red domótica media	80
6.2.1 Obtención de datos	80
6.2.2 Modelo energético	81
6.2.3 Consumo energético del sistema usando la tecnología LCN	82
6.2.4 Comparación del consumo energético del sistema con la tecnología Arduino	84
6.3 Comparación funcional de los sistemas	86

CONCLUSIONES 88

ANEXOS 92

ANEXO A: Encuesta realizada para el diseño del producto	93
ANEXO B: Tabla de Función de Calidad	95
ANEXO C: Manual de configuración y programación del sistema domótico LCN	96
ANEXO D: Manual de configuración y programación del sistema domótico Arduino	108
ANEXO E: Capturas del código programado para el SRCV	121
ANEXO F: Diseño de placas para el Arduino Uno, Arduino Mega 2560 y circuito de dimerización	123

BIBLIOGRAFÍA 125

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL

Figura 2.1. Arquitectura domótica centralizada	24
Figura 2.2. Arquitectura descentralizada	25
Figura 2.3. Arquitectura distribuida	25
Figura 2.4. Arquitectura híbrida	25
Figura 2.5. Sistemas de gestión	27

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO

Figura 3.1. Resultados de la encuesta para la pregunta 2	34
Figura 3.2. Resultados de la encuesta para la pregunta 3	35
Figura 3.3. Resultados de la encuesta para la pregunta 7	35
Figura 3.4. Resultados de encuesta para la pregunta 6	36
Figura 3.5. Resultados de encuesta para la pregunta 8	36
Figura 3.6. Variables de entrada y salida al sistema	40
Figura 3.7. Diagrama funcional del sistema de gestión del inmueble	40
Figura 3.8. Desarrollo de conceptos para gestión de cargas eléctricas	41
Figura 3.9. Desarrollo de conceptos para gestión de sensores	41
Figura 3.10. Desarrollo de conceptos para gestión de sincronización entre sensores y módulos del sistema	41
Figura 3.11. Desarrollo de conceptos para gestión de interacción de usuario	42
Figura 3.12. Concepto de producto	43
Figura 3.13. Cable de datos adicional a la alimentación eléctrica	44
Figura 3.14. Diagrama eléctrico del sistema domótico implementado con la tecnología LCN	46
Figura 3.15. Arquitectura y funcionamiento del sistema domótico con Arduino	48
Figura 3.16. Esquema de conexión del Arduino Uno con los módulos del sistema	50
Figura 3.17. Esquema de conexión del Arduino Mega 2560 con los módulos del sistema	51
Figura 3.18. Esquema de conexión del bloque de dimerización	51
Figura 3.19. Rectificación de onda completa y detección de cruce por cero	52
Figura 3.20. Control del ángulo de disparo en la alimentación de la carga	52
Figura 3.21. Diagrama de flujo para la actualización del estado de sensores	54
Figura 3.22. Diagrama de flujo para la actualización del estado de las cargas dimerizables	54
Figura 3.23. Diagrama de flujo para el cambio de estado fijo de las cargas de iluminación	55
Figura 3.24. HMI final	56

CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE COMANDOS DE VOZ

Figura 4.1. Esquema de funcionamiento del control domótico a través SRCV	58
--	----

Figura 4.2. Web Speech API Demonstration (Google Chrome)	59
Figura 4.3. Diagrama de flujo del SRCV	61
Figura 4.4. Interfaz web para el SRCV	61

CAPITULO 5: PRUEBAS Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DOMÓTICO

Figura 5.1. Diagrama de prueba de la comunicación entre los módulos	67
Figura 5.2. Monitoreo y verificación de la comunicación	67
Figura 5.3. Prueba de funcionalidad de los módulos nRF24L01	69
Figura 5.4. Prueba de funcionalidad del receptor IR	71
Figura 5.5. Implementación inicial del sistema domótico mediante Arduino	72
Figura 5.6. Pruebas y evaluación del sistema domótico con Arduino en PCB	72
Figura 5.7. Desajuste de la onda en la carga	73
Figura 5.8. Corrección del ángulo de disparo	73
Figura 5.9. Pruebas del funcionamiento de dimerización de cargas	74
Figura 5.10. Conexión de módulos y demás elementos del sistema domótico	74
Figura 5.11. Conexión del prototipo terminado	75
Figura 5.12. Funcionamiento del sistema domótico	75

CAPITULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA Y VENTAJAS EN LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Figura 6.1. Diagrama de flujo utilizado para obtención de la potencia consumida	80
Figura 6.2. Comparación del consumo energético con tecnología LCN con y sin domótica en un día laboral	83
Figura 6.3. Comparación del consumo energético con tecnología LCN con domótica y sin domótica en un día del fin de semana	84
Figura 6.4. Comparación del consumo energético con tecnología Arduino con domótica y sin domótica en un día laboral	85
Figura 6.5. Comparación del consumo energético con tecnología Arduino con domótica y sin domótica en un día del fin de semana	85

ANEXO C: Manual de configuración y programación del sistema domótico LCN

Figura C.1. Programación de eventos para el sensor de luz LCN-LSH (M6 luces)	97
Figura C.2. Programación de eventos para el sensor LCN-BMI (M10 sala)	97
Figura C.3. Ventana de configuración del código de tarjetas para LCN-UT	98
Figura C.4. Programación de eventos para transponder de acceso RFID	98
Figura C.5. Programación de eventos para la dirección B3 del transmisor IR, módulo LCN-RT (M14 cocina)	100

Figura C.6. Programación de evento para los pulsantes convencionales LCN-T8 (M14 cocina)	101
Figura C.7. Programación de eventos para el teclado LCN-GT6W (M10 sala)	102
Figura C.8. Esquema de conexión host y acoplador para la conexión de LCN-PCHK y LCN-GVS. Tomada de [37]	103
Figura C.9. Configuración y monitoreo desde LCN/PCHK	103
Figura C.10. Ventana de inicio de sesión de LCN-GVS	104
Figura C.11. Creación de tableros de control	105
Figura C.12. Tablero general agregado elementos de control	105
Figura C.13. Ventana de configuración del temporizador	106
Figura C.14. Interfaz LCN-GVS final	107
Figura C.15. Comunicación de LCN-PRO a través del protocolo TCP/IP	107

ANEXO D: Manual de configuración y programación del sistema domótico con Arduino

Figura D.1. Selección de la tarjeta Arduino y puerto serial	108
Figura D.2. Sensor de temperatura y humedad DHT11	109
Figura D.3. Sensor de luz digital BH1750	110
Figura D.4. Módulo lector RFID RC522	111
Figura D.5. Sensor de movimiento PIR	112
Figura D.6. Control remoto IR y módulo receptor	113
Figura D.7. Módulo relé de cuatro canales compatible con Arduino	115
Figura D.8. Conexión de cargas de potencia al relé de 4 canales	115
Figura D.9. Pantalla táctil LCD TFT 2.8"	116
Figura D.10. Módulo transceptor nRF24L01	118

ANEXO E: Capturas del código programado para el SRCV

Figura E.1. Compatibilidad del navegador con la API de reconocimiento	121
Figura E.2. Modo de reconocimiento continuo	121
Figura E.3. Sub método <i>onresult</i>	121
Figura E.4. Limitación caracteres en el resultado del reconocimiento	121
Figura E.5. Validación de entrada de voz de un comando	121
Figura E.6. Búsqueda del comando válido correspondiente y llamada a función de descarga	122
Figura E.7. Función principal para la descarga del archivo con el comando válido	122

ANEXO F: Diseño de placas para el Arduino Uno, Arduino Mega 2560 y circuito de dimerización

Figura F.1. Diseño de placa para Arduino Uno	123
Figura F.2. Diseño de placa para Arduino Mega 2560	123
Figura F.3. Diseño de placa para el circuito de dimerización	124

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL

Tabla 2.1. Datos técnicos del sistema LCN	28
---	----

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO

Tabla 3.1. Requerimientos de usuario para un sistema de automatización	38
Tabla 3.2. Métricas para el sistema de automatización	39

CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE COMANDOS DE VOZ

Tabla 4.1. Lista de comandos de voz válidos para el SRCV	52
Tabla 4.2. Resultados de las pruebas del SRCV	53

CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DOMÓTICO

Tabla 5.1. Asignación de módulos del sistema domótico LCN	66
Tabla 5.2. Resultados de las pruebas de distancia del control remoto IR	68
Tabla 5.3. Resultados de las pruebas para el sensor de luz LCN-LSH	68
Tabla 5.4. Resultados de las pruebas para el sensor de luz Arduino	70

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA Y VENTAJAS EN LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Tabla 6.1. Presupuesto del sistema domótico usando la tecnología LCN	78
Tabla 6.2. Presupuesto del sistema domótico usando la tecnología Arduino	79
Tabla 6.3. Cronograma de encendido de cargas utilizando domótica (lunes a viernes)	81
Tabla 6.4. Cronograma de encendido de cargas utilizando domótica (fin de semana)	82
Tabla 6.5. Comparación del consumo energético con la tecnología LCN (día laboral)	83
Tabla 6.6. Comparación del consumo energético con la tecnología LCN (fin de semana)	83
Tabla 6.7. Comparación del consumo energético con la tecnología Arduino en un día laboral	84
Tabla 6.8. Comparación del consumo energético con la tecnología Arduino en un día del fin de semana	86
Tabla 6.9. Comparación del consumo energético para las tecnologías LCN y Arduino con sistema domótico y sin sistema domótico	86
Tabla 6.10. Comparativa de funcionalidad de las tecnologías domóticas utilizadas	87

ANEXO C: Manual de configuración y programación del sistema domótico LCN

Tabla C.1. Configuración de puertos y salidas de los módulos LCN	96
Tabla C.2. Escenas de iluminación para las tarjetas de acceso RFID	99



Tabla C.3. Combinación de teclas, niveles y direcciones del módulo LCN-RT	100
---	-----

ANEXO D: Manual de configuración y programación del sistema domótico con Arduino

Tabla D.1. Conexión de los pines del sensor DHT11	109
Tabla D.2. Conexión de los pines del sensor BH1750	110
Tabla D.3. Conexión de los pines del lector RFID-RC522	111
Tabla D.4. Conexión de los pines del sensor de movimiento PIR	112
Tabla D.5. Conexión de los pines del módulo receptor IR	113
Tabla D.6. Conexión de los pines del módulo relé de 4 canales	115
Tabla D.7. Conexión de los pines del módulo nRF24L01	118



Yo, Esteban Adrián Farfán Rea, autor de la tesis "Diseño de un sistema domótico para facilitar la interacción de personas con discapacidad a través de interfaces remotas y mandos por voz", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 20 de Febrero de 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "E. Farfán" o similar, sobre una línea horizontal.

Esteban Adrián Farfán Rea
C.I: 010509989-9



Yo, Diego David Quizhpe Chérrez, autor de la tesis "Diseño de un sistema domótico para facilitar la interacción de personas con discapacidad a través de interfaces remotas y mandos por voz", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 20 de Febrero de 2016

Diego Quizhpe

Diego David Quizhpe Chérrez
C.I: 010516886-8



Yo, Esteban Adrián Farfán Rea, autor de la tesis "Diseño de un sistema domótico para facilitar la interacción de personas con discapacidad a través de interfaces remotas y mandos por voz", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de Febrero de 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "E. Farfán".

Esteban Adrián Farfán Rea
C.I: 010509989-9



Yo, Diego David Quizhpe Chérrez, autor de la tesis "Diseño de un sistema domótico para facilitar la interacción de personas con discapacidad a través de interfaces remotas y mandos por voz", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de Febrero de 2016

Diego Quizhpe

Diego David Quizhpe Chérrez
C.I: 010516886-8



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, que ha sido el pilar fundamental en el alcance de este logro y en quien confío. A toda mi familia, en especial a mis padres, Milton y Lourdes por todo el amor, consejos, sacrificios y entrega brindada por mi propio bien y que han hecho posible culminar otra etapa en mi vida, A mis hermanos Santiago, Fernanda y María Paz por el apoyo y motivación diaria.

Esteban.



DEDICATORIA

A Dios que me ha regalado la vida, sabiduría y una gran familia con quienes he compartido los mejores momentos de mi vida. A mis padres, Eddy y Tere que no han dejado de confiar en mí y con su apoyo, motivación, valores y amor incondicional han sido el eje fundamental para culminar esta etapa de mi vida. A mis hermanas Adriana, Nataly, Evelyn, Pamela y Anahí que siempre me han apoyado, acompañado y en especial comprendido en el proceso de mi vida estudiantil llegando a ser mi principal motivación para superar cada obstáculo y conseguir este logro. A todas aquellas personas que forman parte de mi vida y me han motivado en el trayecto de mi formación profesional.

Diego.



AGRADECIMIENTOS

Alcanzar este logro académico no hubiese sido posible sin la colaboración de personas muy especiales, a las cuales expreso mi inmenso agradecimiento. A Dios por haber regalado la vida y la sabiduría que me ha permitido culminar de la mejor manera este proyecto. A mis padres y hermanos que me ha acompañado con paciencia y amor durante este largo camino. A quien fue nuestro director de Tesis, Dr. Ismael Minchala por su acertada orientación y apoyo con el fin de alcanzar lo anhelado. A mis compañeros y amigos, Angélica, Diego, Jairo y Oswaldo con quienes he compartido esta etapa y auguro larga amistad y éxito.

Esteban.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios que me ha permitido culminar esta etapa de mi vida estudiantil y por darme la salud para lograr mis objetivos. A mis padres y hermanas que me han brindado su apoyo, confianza y comprensión en estos años de formación profesional.

Un sincero agradecimiento a mi director Dc. Ismael Minchala, por su tiempo, dedicación y predisposición en la orientación de este proyecto. A mis amigos, profesores y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

Diego.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La imitación de habilidades naturales del ser humano constituye uno de los mayores retos a los que científicos e ingenieros se enfrentan, debido a que la sustitución de actividades motrices o de discernimiento requiere complejos modelos de discriminación y toma de decisiones. El colectivo de discapacitados en América Latina y el Caribe según la OMS (Organización Mundial de la Salud) es de 85 millones [1]. De igual forma, se estima según [2] que existen alrededor de 45 millones de adultos mayores en la región. En el Ecuador según estadísticas del CONADIS, existen 416,177 personas con discapacidad y alrededor de 900,000 personas de la tercera edad [2][3].

Por tal motivo en la actualidad es necesario desarrollar nuevas tecnologías que brinden alternativas para una mejor calidad de vida a dichas personas. La interacción dentro del hogar se vuelve un reto que encuentra solución en la automatización de viviendas y edificios. Personas con discapacidad motora que deban utilizar sillas de ruedas, muletas, andadores, etc., presentan problemas en actividades comunes dentro del hogar, como abrir una puerta, presionar un interruptor, cerrar las persianas, etc.

El proyecto propuesto plantea diseñar e implementar un sistema domótico que permita dar solución a las dificultades diarias de las personas discapacitadas. El sistema es implementado usando la tecnología LCN (Local Network Control) y la tecnología de código abierto Arduino. Además, el proyecto incluye múltiples interfaces de control e interacción mediante comandos por voz. Los resultados obtenidos son de gran ayuda para las personas discapacitadas, pues las diferentes interfaces del sistema, alta eficiencia y funcionalidad les permitirá mejorar su calidad de vida. Además, la inclusión de los comandos de voz permite que la solución propuesta abarque el nicho de las personas con discapacidad, físico-motora y visual, a quienes está destinado el proyecto.

1.2 Problemática

Las personas con algún grado de discapacidad tienen que enfrentarse a numerosas barreras para relacionarse de manera competitiva y autónoma dentro de la sociedad, la vida laboral y en el hogar. Al hablar de barreras, nos referimos a las barreras arquitectónicas y a las barreras actitudinales. Las principales barreras que afrontan las personas con discapacidad son: el prejuicio social, dificultad de acceso a la información y educación, problemas de accesibilidad, incapacidad o rechazo en el campo laboral, dependencia en el hogar.

Las barreras sociales son las que más se encuentran en la sociedad actual, manifestándose en irrespeto e incomprensión; además de ser subestimados en el campo educativo, laboral y/o dentro del hogar [4]. Estos factores limitan a su desarrollo integral. Por otro lado, las barreras arquitectónicas engloban los obstáculos físicos que limitan o impiden la libertad de realizar una determinada actividad, movimiento, comunicación o autonomía en el entorno social o físico [5]. Éstas barreras presentan un límite a los derechos de las personas con discapacidad.

Según la referencia [6] las barreras arquitectónicas afectan de manera desigual a las personas según su grado y tipo de discapacidad, y se clasifican en:

- Barreras arquitectónicas urbanísticas. Son aquellas barreras que se encuentran en las vías y espacios de uso público como pavimentación, escaleras, semáforos, señalización.
- Barreras arquitectónicas en la edificación. Son aquellas barreras que se encuentran en edificios de uso público o privado.
- Barreras arquitectónicas en el transporte. Son aquellas barreras presentes en los diferentes medios de transporte.
- Barreras arquitectónicas en la comunicación. Son aquellas barreras que limitan la emisión o la recepción de una comunicación en cualquier medio.

En [7] se menciona que la discapacidad más frecuente es la discapacidad física (48,94%), seguida de las deficiencias intelectuales (21,81%), auditivas (12,22%) y visuales (11,70%).

El número de personas con discapacidad en el Ecuador se concentra, principalmente, en las provincias de Guayas, Pichincha, Manabí y Azuay; registrándose el mayor porcentaje en las personas mayores de 50 años con aproximadamente 46,99% seguido de las personas entre 20 a 49 años con un 36,48%. La mayor parte presenta un 50% o más discapacidad, lo que corresponde a un 54% del total de personas con discapacidad [7].

Las personas con discapacidad enfrentan obstáculos arquitectónicos cada día, empezando por una edificación que no los contempla desde su arquitectura y movilidad, un sistema educativo que los expulsa limitando su autonomía en la sociedad y en cualquier lugar.

La solución a estas limitaciones o dificultades es crear un entorno sin barreras. Es decir, un diseño específico que divise la infraestructura, el equipamiento y elementos nece-

sarios para el desarrollo de las diferentes actividades, tanto en los sectores públicos como en los privados, con enfoque en el hogar a través de control automático.

Como solución a esta problemática se plantea implementar una red domótica de bajo costo para una vivienda media, cuyo propósito es brindar solución a la interacción de las personas con discapacidad en el hogar. La solución domótica propuesta proveerá de un sistema funcional, de sencilla instalación y adaptación a las viviendas, con un costo accesible a la realidad actual del país. Las estrategias de control incluyen monitoreo de forma remota, web (smartphones, tablets, etc.) y funciones de interacción mediante comandos de VOZ.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema domótico controlado de forma remota, web y reconocimiento de voz para asistir la interacción de personas con discapacidad en el hogar.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Estudiar la arquitectura del sistema domótico para ajustarse a los requerimientos de las personas con discapacidad.
2. Elaborar modelos energéticos de uso de la tecnología domótica en viviendas tipo.
3. Desarrollar un análisis económico de la tecnología domótica propuesta.

1.4 Análisis del estado del arte

El desarrollo y constante avance de las tecnologías de la información y comunicación ha permitido la incorporación, a un gran número de campos de la actividad humana, de aplicaciones y elementos que permiten controlar dispositivos o sistemas eléctricos y electrónicos.

Mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad, a través de tecnologías que promuevan su autonomía e independencia, es objeto de un sinnúmero de estudios e investigaciones alrededor del mundo [8]. Por lo tanto, resulta una necesidad, realizar investigaciones en aspectos médicos, sociales, económicos y tecnológicos, etc. para dar solución a esta problemática [9].

Con el propósito de brindar herramientas que contribuyan en aspectos de integración de personas con discapacidad en el hogar, se han propuesto varias soluciones tecnológicas a partir de diferentes enfoques; por ejemplo en Italia, existe un proyecto que tiene como objetivo desarrollar un sistema completo para los adultos mayores, cuyo propósito es la prevención de enfermedades crónicas a través del monitoreo del sujeto, además de asistir a su interacción con el medio ambiente y brindar apoyo en la realización de acciones y búsqueda de objetos personales dentro del hogar. Recientemente, la innovación tecnológica ha centrado su desarrollo en objetos inteligentes, que se definen como “objetos cotidianos equipados con capacidades sensoriales, de memoria y comunicación” [8].

La domótica/inmótica ha logrado significativos avances en la integración de edificaciones de interés particular para grupos de personas con discapacidad, tales como hospitales, centros geriátricos, centro para discapacitados, etc. En este ámbito son muchas las pruebas y proyectos en desarrollo en todo el mundo, como es el caso de la región de Marche, Italia en donde se ha logrado el financiamiento de un proyecto denominado: casa inteligente para el envejecimiento activo en las personas mayores [8]. Otro sistema es el denominado HOPE (HOMe for the elderly PEople), que consiste de una plataforma integrada inteligente, que administra un hogar con diferentes funcionalidades que incluyen interacción con el usuario, seguridad y comunicaciones, donde cada sensor se conecta al HOPE mediante la red de ZigBee [10]. Se han diseñado sistemas domóticos para aplicaciones didácticas en laboratorios de ingeniería electrónica, uno de ellos con la implementación de tecnología PLC (Power Line Communications), que pretende aprovechar el tendido de distribución eléctrica para crear una red domótica que ofrezca facilidades de acceso, control de los equipos del laboratorio, ahorro de energía y mejore la calidad de servicio para los estudiantes en una escuela colombiana de ingeniería [11]. Otro sistema domótico de investigación, es el del laboratorio de automatización y control de la universidad de Antioquia, en el área de domótica, utilizando dispositivos físicos ZigBee [12].

En la universidad de Cuenca se ha desarrollado un proyecto de grado cuya finalidad es analizar las necesidades básicas de las personas con discapacidad dentro del hogar, usando tres sistemas de control: visión artificial, comandos de voz y aplicación Android [13]. Sin embargo, ésta solución no está diseñada como bus domótico, por lo que su flexibilidad y escalabilidad son limitadas.

En [14] se ha desarrollado una aplicación móvil enfocada para las personas mayores y con discapacidad que permite controlar remotamente los elementos del hogar a través de comandos por voz transmitidos a la red GSM a través de servicio de mensajes cortos (SMS, por sus siglas en inglés). El receptor móvil recibe el SMS que es leído por un microcontro-

lador utilizando una estructura de comandos AT (ATtention).

La realidad de nuestro país dista mucho de la apreciación tecnológica que se vive en países con mercados potencialmente grandes. La introducción de estas soluciones domóticas ha sido mínima y ha tardado más tiempo de lo esperado sin aún lograr el impacto deseado.

1.5 Contribuciones de la tesis

El desarrollo de este trabajo generó:

- Un nuevo campo de desarrollo de sistemas de automatización que brinda ahorro en el consumo eléctrico, con un costo de instalación accesible para personas de ingresos medios.
- Un sistema domótico que permite dar solución a los problemas de interacción de las personas con discapacidad físico-motora y visual, dentro del hogar.
- Un software de reconocimiento de voz a través de la Web Speech API para el control permanente del sistema domótico.
- Comparación de dos tecnologías que brindan solución al mismo problema, con diferentes costos y prestaciones.

CAPITULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1 Definiciones domóticas preliminares

2.1.1 Concepto de domótica

El término domótica viene del latín domus que significa casa, combinada con la palabra automática. Por tanto, se define a la domótica como el conjunto de sistemas integrados que se interrelacionan y son instalados dentro de un hogar o edificio (inmótica), brindando la posibilidad de automatizar y controlar los dispositivos dentro y fuera del inmueble [15].

La Asociación de Domótica e Inmótica Avanzada (AIDA) define la Domótica como *“La integración en los servicios e instalaciones residenciales de toda tecnología que permita una gestión energéticamente eficiente, remota, confortable y segura, posibilitando una comunicación entre todos ellos”* [16].

Además, es importante poner a consideración que solo el hecho de incluir TIC¹ (Tecnologías de la Información y Comunicación) al hogar, no encaja en el concepto de domótica. Pues, la condición necesaria y suficiente que requiere la definición de domótica es que, a parte de la inclusión de las TIC en la vivienda, ésta disponga de sistemas integrados e interactivos [17].

Los objetivos de la domótica son principalmente el brindar mayor comodidad para las personas en la interacción con elementos del hogar, aumentar el confort y reducir consumo energético.

2.1.2 Clasificación de los sistemas de automatización del hogar

En [18] se presenta la siguiente clasificación de sistemas de automatización de hogares:

- Dispositivos de control individuales. Conocido por ser la forma más primitiva de la aplicación domótica, en este tipo de sistema cada aparato (como lavadora, secador de pelo, etc.) cuenta con un control independiente por sí mismo.
- Sistemas de control distribuido. La característica más importante de este tipo de sistemas es que los controladores no están centralizados, sino se distribuyen en todo el sistema y se encuentra conectado por redes de comunicación y de supervisión.
- Sistemas controlados centralmente. Estos sistemas son controlados por computadoras locales a fin de regular los aparatos como calentadores, aires acondicionados, refrigeradores, persianas, sistemas de cocción, etc., independientemente de su ubicación actual, los elementos a controlar pueden conectarse al sistema de control desde cualquier lugar a través Internet o por teléfono.

1 Son aquellas tecnologías que permiten transmitir, procesar y difundir información de manera instantánea

- Sistemas controlados en la nube. Estos sistemas se componen de dispositivos integrados que están conectados a servicios en la nube a través de Internet. Al igual que en los sistemas controlados centralmente, cada elemento puede conectarse a los sistemas de control desde cualquier lugar, a través de Internet.

2.1.3 Tipos de arquitectura

La arquitectura de los sistemas de domótica hace referencia a la estructura de su red [19][20]. Las principales arquitecturas son:

- Arquitectura centralizada. La Figura 2.1 muestra una arquitectura centralizada, en la que los elementos a controlar se encuentran conectados al sistema de control de la vivienda (PC o similar) [21]. Poseen un único nodo que recibe toda la información de las entradas, las procesa y envía órdenes a las salidas.

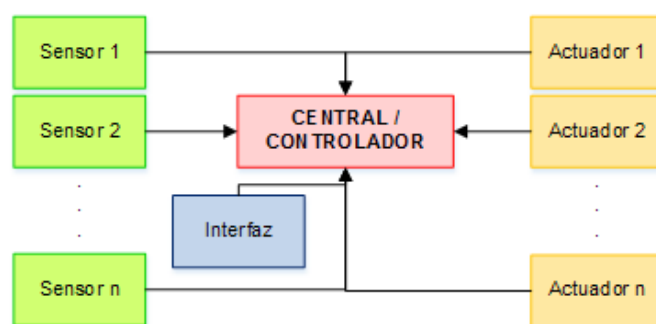


Figura 2.1. Arquitectura domótica centralizada

- Arquitectura descentralizada. La Figura 2.2 muestra una arquitectura descentralizada, en la que todos los elementos de la red actúan de forma independiente unos de otros. Comparten la misma línea de comunicación y cada uno de ellos dispone de funciones de control y de mando.
- Arquitectura distribuida. La Figura 2.3 muestra una arquitectura distribuida, en la cual cada sensor y actuador resulta ser también un controlador capaz de actuar y enviar información al sistema.
- Arquitectura híbrida. La Figura 2.4 muestra una arquitectura híbrida que resulta de la combinación de las arquitecturas centralizadas, descentralizadas y distribuidas. Es posible disponer de un controlador central o varios controladores descentralizados, los sensores y actuadores pueden también ser controladores (como en un sistema distribuido) y procesar la información según el programa, configuración e información que recibe, y actuar sin que necesariamente pase por otro controlador.

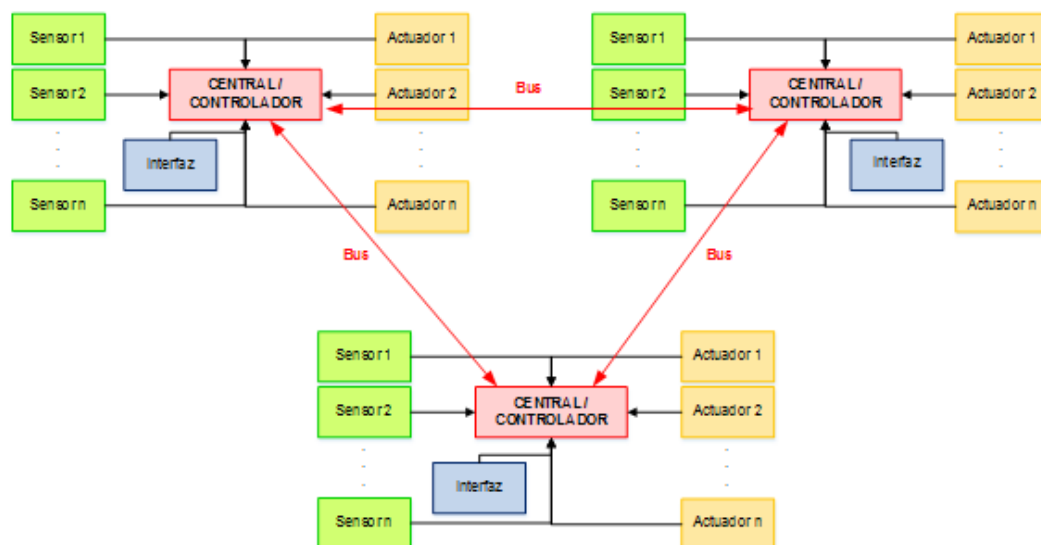


Figura 2.2. Arquitectura descentralizada

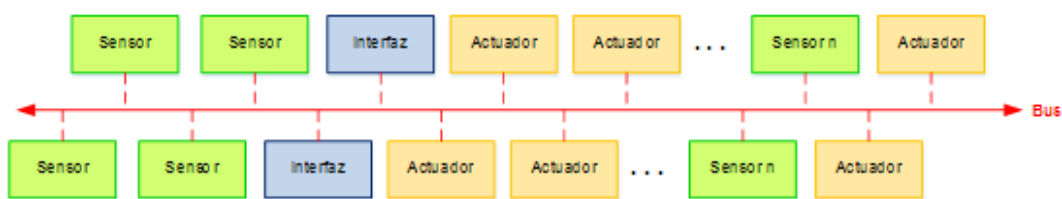


Figura 2.3. Arquitectura distribuida

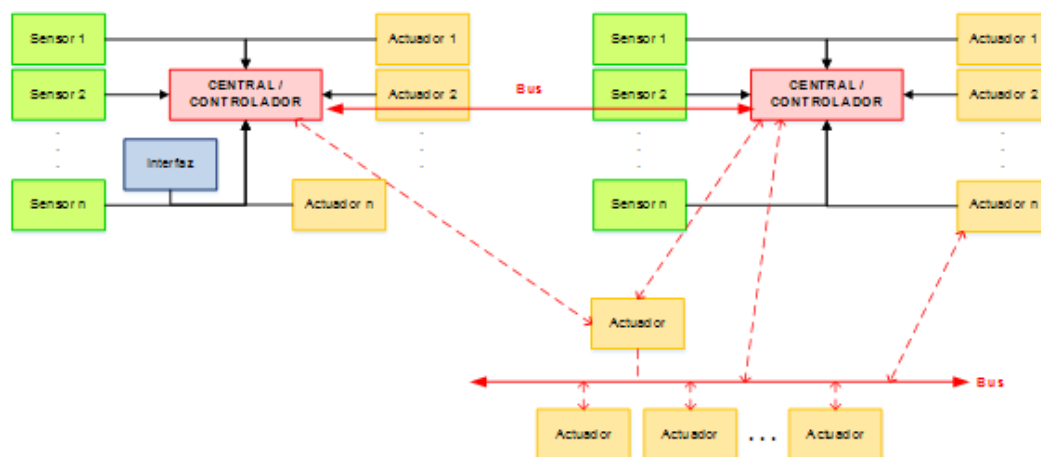


Figura 2.4. Arquitectura híbrida

2.1.4 Medios de transmisión

Según [22] los medios de transmisión pueden clasificarse de acuerdo a la información, interconexión y control, entre los distintos dispositivos de los sistemas de domótica. Los principales medios de transmisión son:

- Cableado Propio
- Cableado Compartido
- Inalámbrico

Cuando un medio de transmisión se usa con el fin de transmitir información entre dispositivos, con la función de controlador, se le denomina bus.

2.2 Sistemas de gestión

La definición de domótica se basa en 4 pilares fundamentales [16]:

- Seguridad. La funcionalidad del sistema conjuntamente con la correcta ubicación de sensores, incrementan la seguridad de los habitantes del inmueble.
- Ahorro de energía. Para el ahorro energético hace falta contar con sensores que permitan regular la intensidad luminosa de lámparas instaladas dentro del inmueble, además de encender y apagar electrodomésticos únicamente cuando su uso sea requerido e incluso apagar toda la instalación eléctrica cuando el usuario abandone el hogar. Se estima que el ahorro que se puede alcanzar con una instalación domótica bien planificada es del 25%.
- Confort. La posibilidad de que el usuario pueda gestionar toda la instalación desde un control remoto, teléfono celular, monitoreo remoto a través de la web, etc., incrementa notablemente la comodidad y confianza con la que controla la seguridad y el ahorro de energía dentro del inmueble.
- Comunicaciones. Las comunicaciones, en la automatización de viviendas y edificios se encargan de los enlaces dentro del hogar y sus respectivos interfaces fuera de la instalación local a través del Internet, mensajería corta, etc.

El intercambio de información en una instalación domótica es fundamental. Pequeñas cantidades de información deben ser transmitidas con poca frecuencia, pero a grandes distancias y de una manera segura.

Los requerimientos técnicos más frecuentes en una instalación domótica son [16]:

- Control de iluminación y manejo de persianas
- Sistemas de calefacción, aire acondicionado y ventilación
- Gestión de artículos de línea blanca, como refrigeradores, cocinas, etc.
- Integración y control de dispositivos de línea marrón, como por ejemplo televisores, juegos de consola, sistemas de audio, etc.
- Sistema de comunicaciones para control y supervisión de las instalaciones.

- Publicación web
- Seguridad y sistemas de control de acceso

La Figura 2.5 muestra un diagrama del sistema de gestión domótico basado en la interacción de los cuatro pilares: gestión de energía, gestión de seguridad, gestión del confort y gestión de las telecomunicaciones.

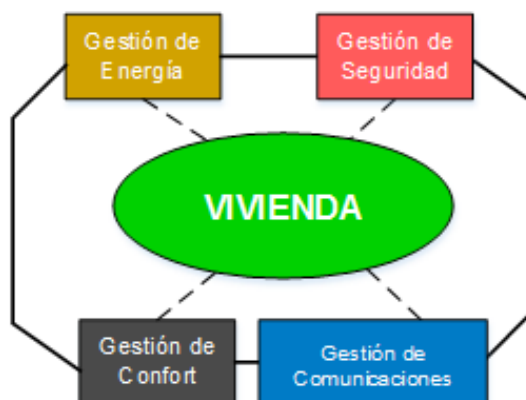


Figura 2.5. Sistemas de gestión

2.3 Tecnología LCN

2.3.1 Introducción

La tecnología LCN es un sistema bus modular para cualquier clase de edificios o viviendas [23]. Sus principales características son: su gran capacidad de transmisiones, excelente fiabilidad y amplia gama de funciones.

El sistema LCN se puede escalar fácilmente y permite vincular órdenes manuales con funciones automáticas. Por lo que, no solo brinda un control integral de la vivienda, sino también ofrece al usuario, gran comodidad individual y ahorro energético.

Una red de instalación convencional LCN necesita solamente un hilo adicional a la red eléctrica para la transmisión de datos. La configuración individual de los módulos de bus LCN se realiza utilizando el software de parametrización LCN-PRO, que permite crear proyectos de forma remota y transmitirlos después al lugar requerido, además de realizar la lectura del mismo en cualquier momento, en caso que el sistema se encuentre ya instalado.

2.3.2 Ventajas del sistema LCN

La tecnología del sistema LCN es muy conocida en el mercado mundial de automatización de hogares y edificios, debido a algunas ventajas [23], como:

- LCN no requiere una red adicional. El montaje e instalación del sistema LCN no requiere modificaciones ni adaptaciones adicionales a la red eléctrica existente, debido a que únicamente utiliza un hilo libre de la instalación disponible.
- Calidad: vigilancia integral. Cuenta con cuatro niveles de confirmaciones y avisos, obteniendo como resultado una vigilancia completa de todos los estados y procesos de la red.
- LCN es un sistema abierto. Debido a que LCN es un bus abierto, éste puede acoplarse mediante interfaces diferentes a prácticamente cualquier sistema (e.g. BACnet², Modbus³, Bosch, IOS, etc.).

2.3.3 Datos Técnicos

En la referencia [23] se describen algunos datos técnicos del sistema LCN, los cuales se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Datos técnicos del sistema LCN

Tecnología	Datos
Velocidad de datos	Nivel inferior de bus: 9600 Bd = tipo 100 telegramas/s Bus de segmento: 300 kBd–2.5 MBd = 1000 telegramas/s (hasta 10 000).
Datos útiles	24 Bits (o más: hasta 120 B/telegrama)
Niveles inferior de bus	250 módulos máximo por segmento
Segmentación máxima	120 segmentos
Ampliación máxima	30 000 módulos > 600 000 sensores/actuadores
Alcance	1 km por hilo de bus (más de 50 hilos/segmentos).
Jerarquía	2 niveles
Notificaciones de confirmación y aviso	4 niveles: <ul style="list-style-type: none">• Confirmación de funciones.• Notificaciones de estado.• Órdenes de estado.• Mensajes de funcionamiento.

2 Protocolo de comunicación de datos para la creación de automatización y control de redes. <http://www.bacnet.org/>

3 Protocolo de mensajería de la capa de aplicación, colocado en el nivel 7 del modelo OSI. <http://www.modbus.org/specs.php>

2.3.4 Funcionamiento

LCN integra un bus para el control y monitoreo de la vivienda o edificio. Con la adición de un hilo al cable de instalación convencional es posible interconectar y lograr interacción entre los módulos del sistema a utilizar [23].

El modo de operación de los módulos es absolutamente independiente, y no requieren un suministro eléctrico exclusivo ni alimentación especial. La alta funcionalidad del sistema, posibilita el uso de pocos módulos y escaso cableado para su instalación. Los módulos LCN contienen, además de los sensores y actuadores, varios sincronizadores, enlaces, así como reguladores, análisis de umbrales y una función de contador/cálculo. Esto permite realizar controles automáticos directamente en el lugar.

Las configuraciones se colocan de forma permanente en la memoria de configuración de los módulos LCN inteligentes y se conservan en el caso de una caída de tensión. Así, el estado actual puede leer todos los módulos LCN de una instalación en todo momento, analizarlos, modificarlos y reprocesarlos [23].

2.3.5 Notificaciones de control y aviso

El sistema LCN proporciona cuatro niveles de confirmaciones y avisos, los cuales se transmiten entre módulos master y módulos esclavos, estos niveles son:

- Función de confirmación. Es la respuesta a una orden. Además de confirmarse la recepción de la orden, también se confirma la ejecución correcta de ella.
- Aviso de mensaje. Se envía cuando el valor de una entrada o una salida se modifica. Estos avisos permanecen disponibles a lo largo de todo el bus y son los más importantes en el proceso de notificación fiable de LCN.
- Orden de estado. Se usan para realizar los controles de seguimientos. Éstas envían al módulo cuando su salida se conecta/atenúa.
- Mensajes de funcionamiento. Son aquellos que ayudan al instalador. Los módulos LCN tienen integradas funciones de comprobación de sobre temperatura, sobrecarga de la fuente de alimentación interna y otros errores de instalación semejantes.

2.3.6 Tipos de módulos

Debido a la alta funcionalidad y diversidad de los módulos LCN, éstos se clasifican en [23]:

- Módulos del bus. Los módulos del bus conforman la base del sistema LCN. Debido al microcontrolador incorporado, éste se encarga de la consulta de sensores, control de

actuadores y comunicación con otros equipos del bus. Todos los módulos de bus están equipados con una fuente de alimentación integrada para 230 V, 110 V o 24 V (50 Hz/60 Hz).

Los módulos LCN están asegurados en el hilo de datos contra tensión de red y pulsos de hasta 2/4 kV, de manera que LCN no requiere instalar una protección por sobretensión.

- Módulos de conexión y atenuación. Los módulos LCN estándares (p. ej., LCN-UPP, -SH, -HU, -LD) tienen dos salidas electrónicas atenuables de 230 V (de 300 VA a 2000 VA) y dos salidas adicionales simuladas. Controlan la atenuación, la conexión, el manejo del motor, el control de paquetes y pulsos, etc.
- Módulos de bus y sensores. Los módulos de sensores (e.g. LCN-UPS, -SHS) ofrecen una alternativa económica cuando no se necesitan salidas de 230V. Gracias a sus cuatro salidas simuladas ofrecen las mismas funciones, aunque no salidas de potencia electrónica.

2.3.7 Conexiones para ampliaciones

La gran mayoría de módulos LCN están provistos de varios tipos de conexiones para la transmisión de datos desde los sensores hasta los actuadores que constituyen la red. Dichas conexiones que permiten el escalamiento de la red son [23]:

- Conexión T. La solicitud de teclado convencional, teclado táctil LCN sin pantalla o teclado estándar KNX se realiza mediante la conexión T.
- Conexión I. La conexión I ofrece la posibilidad de conectar sensores de forma paralela, e.g. sensores de temperatura, receptores IR, receptores transpondedores, etc. Además, la conexión I permite extenderse hasta 50 m entre módulos.
- Conexión P. Permite la conexión de relés y sensores binarios. Esto hace posible que un módulo controle hasta ocho salidas de relés con una carga de 16 A y pueda solicitar ocho mensajes binarios.
- Salidas de control. Ofrecen además de las salidas de 230V/110V, salidas de control de 0 a 10 V, y salidas para buses de iluminación Dali⁴.

2.3.8 Direccionamiento

Los módulos LCN requieren de una dirección para el control de cada módulo, y ésta se compone de un número entre 5 y 254. Es posible enviar un dato a través del bus a una dirección de módulo específica. En caso de que sea necesario dirigirlo hacia varios módulos, se usa el direccionamiento de grupo. La cantidad de miembros por grupo es ilimitada. Además, cada módulo puede ser miembro de 12 grupos.

⁴ Digital Addressable Lighting Interface: Interfaz de iluminación con direccionamiento digital, es un estándar de interfaz no sometido a régimen privado para equipos de control electrónicos regulables. http://www.osram.es/osram_es/noticias-y-conocimiento/sistemas-de-control-de-luz/tecnologias/dali/index.jsp

Los módulos pueden enviar directamente entre sí información para el procesamiento posterior y formar así una red neuronal.

2.3.9 Transferencia de datos

El sistema LCN es capaz de transmitir hasta 100 telegramas de datos por segundo entre sus módulos (en grandes proyectos, se puede alcanzar entre 1000 y 10 000 teleg/seg). Esto se corresponde con una velocidad de transmisión de datos de 9600 Bd y su longitud total máxima es 1 km, pudiendo ampliarse usando un repetidor [23].

2.4 Tecnología ARDUINO

2.4.1 Conceptos y fundamentos de Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto basada en el fácil uso de hardware y software, diseñada para ser extensible. El hardware Arduino está basado en microcontroladores AVR de Atmel, en particular la ATmega8, el ATmega168, el ATmega328 y el ATmega1280 [24].

Arduino fue construido en torno al proyecto de *Wiring* de Hernando Barragán, lenguaje de programación y desarrollo; con el propósito de realizar una versión electrónica de procesamiento más ligera, económica y disponible para la comunidad de código abierto [25].

El lenguaje que implementa Arduino proviene de *Wiring*. El entorno de Arduino está basado en *Processing* e incluye las modificaciones realizadas por el *Wiring* [24], su entorno de desarrollo (IDE, por sus siglas en inglés) se ejecuta en el equipo, utilizado para escribir y cargar el código del computador a la tarjeta de Arduino.

Wiring es un marco de programación de código abierto para microcontroladores, que permite escribir software multiplataforma para controlar dispositivos conectados a una amplia gama de placas de microcontroladores para crear todo tipo de codificación creativa, objetos interactivos, espacios o experiencias físicas [26]. *Processing* es un software flexible de lenguaje y desarrollo de código abierto basado en Java, útil para codificar en el contexto de las artes visuales.

2.4.2 Características de Arduino

A continuación, se describen los principales elementos que intervienen en la placa de Arduino, así como también su entorno de desarrollo.

2.4.2.1 Software de programación de Arduino

Las placas son programadas a través del software propio de Arduino. Este software permite escribir y cargar el código de programación desde el computador hacia la placa de Arduino. Es posible ejecutarlo en los sistemas operativos de Windows, Mac OS X y Linux [24]. El entorno está escrito en Java y basado en *Processing* y *Wiring* también de código abierto, disponible para la extensión por programadores experimentados.

El lenguaje se puede ampliar a través de bibliotecas C++. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones en Arduino como Java, Processing, Python, Mathematica, MATLAB, Perl, Visual Basic, etc. Del mismo modo, se puede agregar código del lenguaje de programación AVR-C.

2.4.2.2 Hardware de Arduino

El costo de la placa Arduino es relativamente bajo, y ésta se conecta directamente al puerto USB de un ordenador. En la placa Arduino se pueden añadir sensores, actuadores y varios dispositivos más, para comunicarse e implementar el proyecto requerido [24].

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el ATmega328P. Cuenta con 14 pines digitales de entrada o salida, de los cuales 6 pueden utilizarse como salidas PWM, 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado de ICSP y un botón de reinicio. Puede ser alimentada mediante una conexión USB o por alimentación externa [24]. Características de las placas utilizadas (Arduino Uno y Arduino Mega 2560) se encuentran en su hoja de especificación [27][28].

CAPITULO 3

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DOMÓTICO

3.1 Diseño del producto

Se ha realizado un formato de encuesta cuyas preguntas nos permitan identificar las necesidades emergentes en los hogares a fin de proveer una solución que facilite generar mejores condiciones de vida para personas con o sin discapacidad, físico-motora o visual. El Anexo A presenta el formato de la encuesta realizada.

3.1.1 Análisis de resultados

Fueron aplicadas un total de 40 encuestas a personas que habitan en residencias de nivel medio-alto, obteniendo los datos que se presentan y analizan a continuación.

La Figura 3.1 aclara que prioridad para resolver problemas dentro del hogar, se enfocan a cuestiones de:

- Ahorro energético
- Problemas de seguridad
- Atención a emergencias médicas

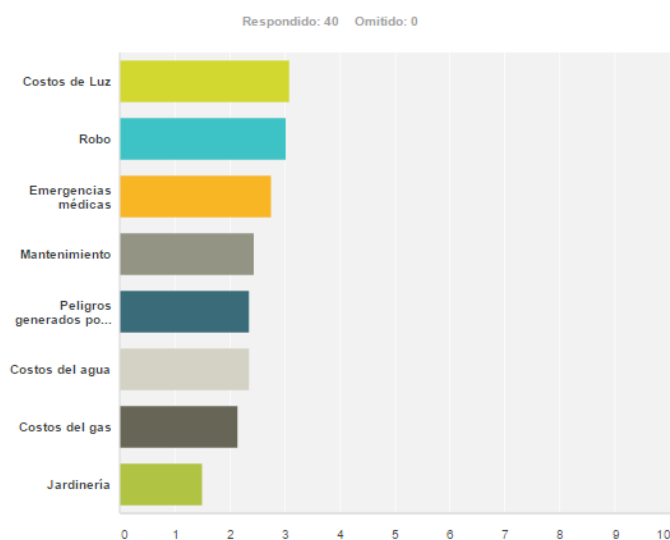


Figura 3.1. Resultados de la encuesta para la pregunta 2

La Figura 3.2 muestra que la mayoría de personas prefieren encaminar mejoras en aspectos de:

- Ahorro energético
- Cuestiones de seguridad habitacional
- Alerta para los descuidos dentro del hogar

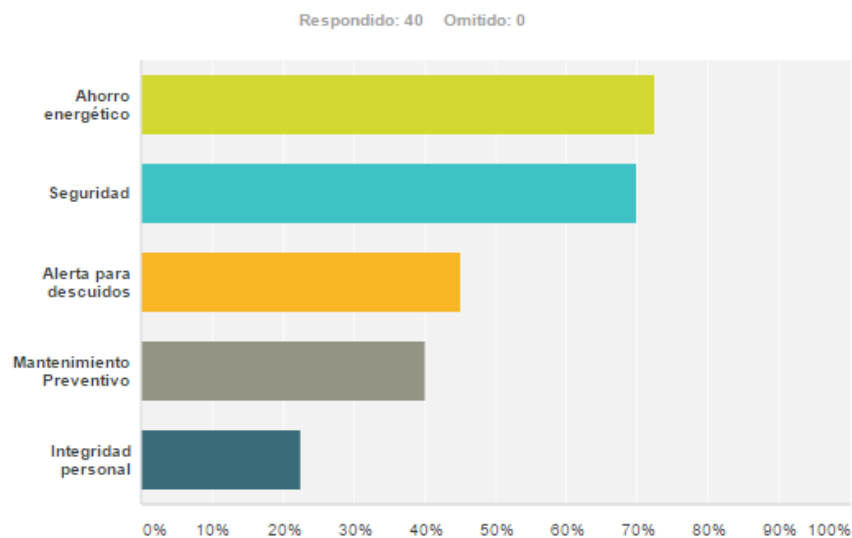


Figura 3.2. Resultados de la encuesta para la pregunta 3

La Figura 3.3 aclara que la mayoría de personas considera que el incremento del pago en los servicios del hogar depende de:

1. Descuidos en el empleo de recursos (iluminación, electrodomésticos, agua, etc.)
2. Fugas en los sistemas de abastecimiento de recursos (agua, gas)
3. Ineficiencia en el empleo de recursos
4. Inconsistencia o mal uso de los recursos

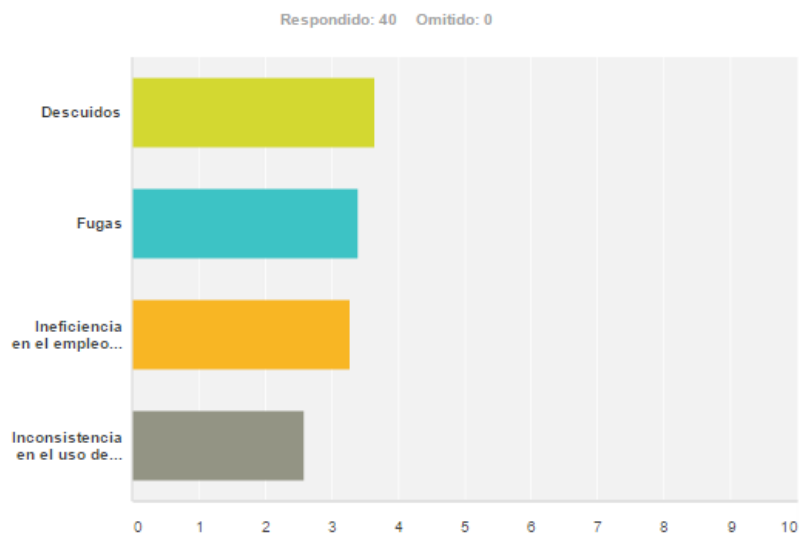


Figura 3.3. Resultados de la encuesta para la pregunta 7

La Figura 3.4 muestra que los servicios considerados importantes son: servicio de internet, servicio de telefonía y seguridad.

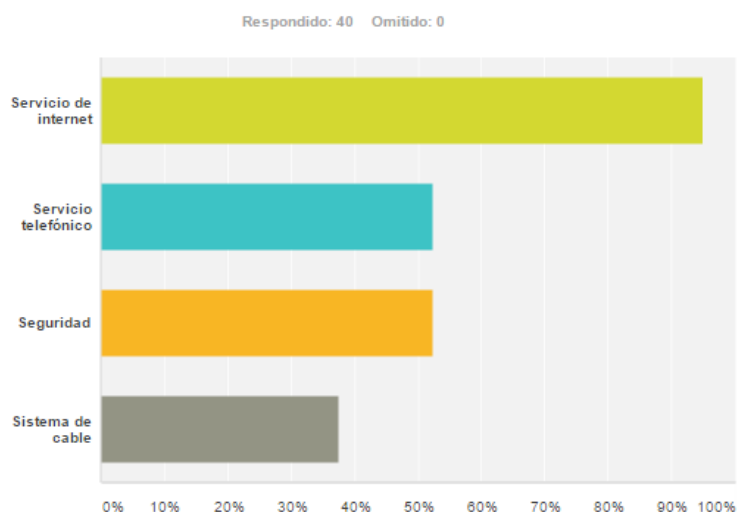


Figura 3.4. Resultados de la encuesta para la pregunta 6

La Figura 3.5 muestra los aspectos tecnológicos primordiales que ayudarán a mejorar la calidad de vida de las personas discapacitadas en el hogar, que son: movilidad, seguridad y control en dispositivos y equipos eléctricos.

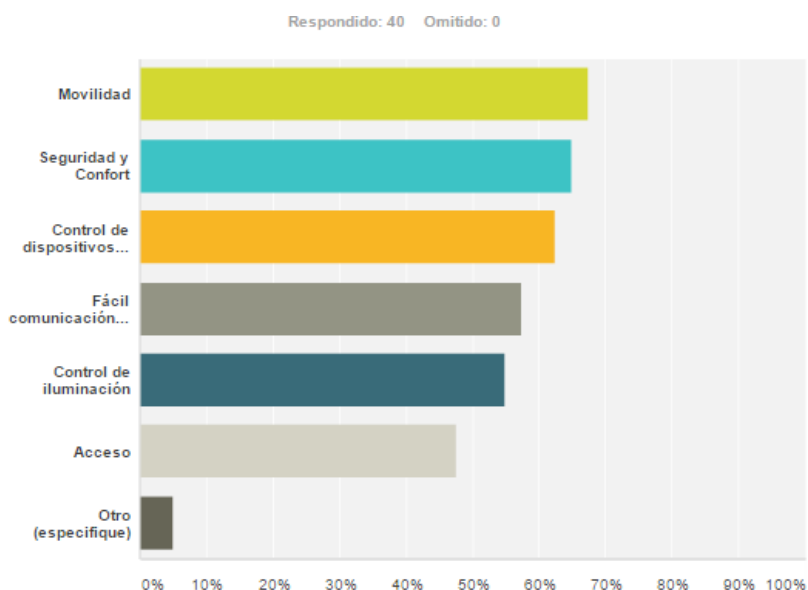


Figura 3.5. Resultados de encuesta para la pregunta 8

La información obtenida de las encuestas permite concluir que la mayoría de las personas, discapacitadas o no, requieren un mayor control en el uso de dispositivos, equipos eléctricos, iluminación y otros servicios básicos (agua, gas), con el objetivo de ahorrar energía. Las personas con discapacidad requieren además de lo anteriormente mencionado, una solución a su movilidad, un óptimo control de acceso y un sistema eficiente de

seguridad.

La principal conclusión obtenida de la encuesta es la coincidencia de personas con distintas realidades sociales y económicas. Las personas con discapacidad presentan una realidad homogénea, por lo que nuestro desarrollo requiere brindar mayor control en dispositivos, seguridad y dar solución a los problemas de movilidad y comunicación tanto fuera como dentro del hogar.

Por lo tanto, el sistema a desarrollar deberá cumplir con todas las exigencias mencionadas, además de su fácil uso e implementación, siendo la automatización del inmueble la solución al problema en discusión. La cual se ofrece mediante el uso de la tecnología domótica LCN o plataforma Arduino, ambas propuestas estudiadas e implementadas en este proyecto.

3.1.2 Despliegue de la función de calidad

3.1.2.1 Definición y descripción

El despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés), es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias [29].

El QFD se ha convertido en un elemento integrador en distintas áreas, como *marketing*, ingeniería y operaciones, y distintas actividades, como la gestión de la calidad. En efecto, a riesgo de simplificar la descripción de los procesos industriales, se puede decir que el *marketing* escucha la voz del cliente, la ingeniería la incorpora en el diseño de productos o servicios, y las operaciones los produce de modo rentable y competitivo [30]. QFD utiliza un método gráfico en el que se expresan relaciones entre deseos de los clientes y las características del diseño. El QFD es una matriz que enlista las necesidades de los clientes comparándolas con las características de diseño [31].

Las expectativas y necesidades de los clientes son recolectadas mediante técnicas de investigación de mercados: entrevistas, encuestas, exposiciones, etc. El uso de matrices es la clave para poder construir la casa de calidad (house of quality QFD). En la matriz se muestran las relaciones entre las necesidades de los consumidores y las características de diseño [29]. Las ventajas de esta metodología son [31]:

- Mayor calidad
- Menor costo
- Disminución en el tiempo de fabricación
- Ventaja competitiva en el mercado

Sin embargo, presenta algunas limitaciones como:

- Complejidad y manipulación costosa de grandes volúmenes de información
- No tener en cuenta la imprecisión de las variables con las que se trabaja
- Inadecuado manejo de variables cualitativas y cuantitativas
- Las características de calidad no medibles, o de valor desconocido, deben ser obviadas en el análisis

3.1.2.2 Aplicación del QFD

Considerando la información obtenida de las encuestas en combinación con criterios técnicos, se elaboran matrices que abarquen los requerimientos del usuario y las métricas del sistema. La Tabla 3.1 muestra los requerimientos de los usuarios, recopilados en las encuestas. La Tabla 3.2 muestra las métricas utilizadas para el diseño de un sistema de automatización.

Tabla 3.1. Requerimientos de usuario para un sistema de automatización

#	Necesidad	Importancia
1	El sistema debe economizar el consumo energético	5
2	El sistema debe controlar y monitorear ambientes específicos	5
3	El sistema debe proveer las herramientas para solucionar la movilidad integral del usuario, primordialmente de usuario discapacitado, dentro del hogar	5
4	El sistema debe atender de forma confiable en cuestiones de delincuencia	5
5	El sistema facilita el brindar seguridad integral al usuario	4
6	El sistema debe alertar al usuario sobre descuidos dentro del hogar	3
7	El sistema gestiona la iluminación del hogar	5
8	El sistema es amigable al usuario	5
9	El sistema es fácil de instalar	3
10	El sistema tiene bajo impacto en la instalación	4
11	El sistema tiene una larga vida útil	5

La Tabla 3.1 muestra el orden de importancia de los requerimientos del usuario. Por lo tanto, basados en las respuestas de la encuesta, se deducen varios puntos de interés para el usuario y que serán importantes considerar, e.g. consumo energético, control y monitoreo, seguridad, garantía e impacto en la instalación del sistema, a los cuales se les asigna un nivel de importancia que servirá para el diseño del producto. Uno de los aspectos más importantes a considerar será economizar el consumo energético. Por otro lado, el grado de dificultad en la instalación por parte del proveedor no es muy importante para el usuario, si el producto final cubre sus necesidades. Similar análisis se aplica para los de-

más requerimientos de la Tabla 3.1.

Tabla 3.2. Métricas para el sistema de automatización

#	Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades
1	1,4,7	Gestionar cargas eléctricas AC/DC	5	W [Watts]
2	2,3,7	Interconexión entre módulos dentro del hogar	5	-----
3	1,2,5	Interconexión con sensores de diversas variables	4	-----
4	1,10	Debe caber en las cajas de conexión	3	mm
5	1,12	Tiempo de retorno de inversión	5	años
6	9	Tiempo de instalación	4	días
7	11	Garantía de funcionamiento	4	años
8	6	Compatibilidad con otros sistemas de seguridad	3	-----
9	3,6,8	Amigable y de fácil uso	3	-----
10	9,11	Modular y sencillo de escalar a aplicaciones más grandes	4	-----
11	5	Cumple con estándares y normas de calidad y seguridad	3	-----

La Tabla 3.2 muestra la relación de cada uno de los requerimientos de usuario de la Tabla 3.1 con métricas generales que el producto a ofrecerse debe considerar en el diseño final. Además, presenta la importancia para cada métrica basada en los requerimientos de usuario y unidad de medida. Por ejemplo, la métrica de gestión de cargas eléctricas AC/DC cubre las necesidades 1, 4, 7 (ver Tabla 3.1), con un nivel de importancia máxima y es evaluada por *watts* de consumo. Similar análisis es aplicado para las métricas restantes.

Con la información, análisis y conclusiones obtenidos de las Tablas 3.1 y 3.2, se construye la matriz QFD, mostrada en el Anexo 2.

3.1.3 Desarrollo del concepto del producto

Considerando las necesidades de los potenciales usuarios y las especificaciones meta, la Figura 3.6 plantea al sistema como una caja negra con las siguientes variables:

- Cargas eléctricas: A través de la correcta gestión y manejo de ellas se conseguirá el ahorro energético, puesto que se involucran aquí circuitos de iluminación, motores, etc.
- Sensores: Interconectados al sistema y en red generan alarmas para garantizar la seguridad del inmueble a través de avisos oportunos al usuario.
- Sincronización: Garantizar funcionalidad completa a través de la comunicación entre los

módulos y con otras tecnologías de automatización.

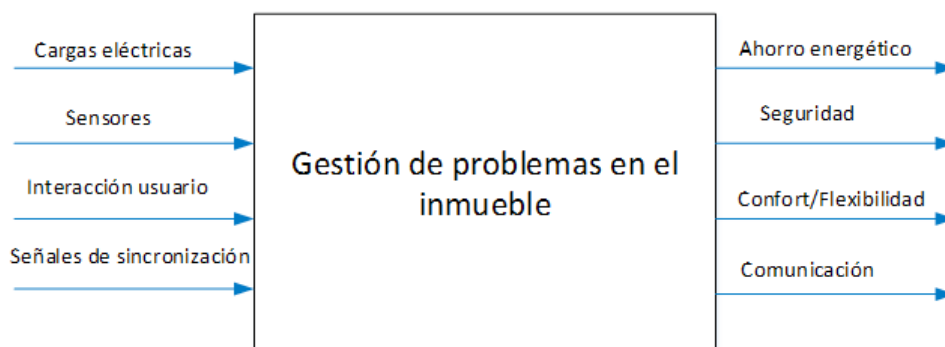


Figura 3.6. Variables de entrada y salida al sistema

La Figura 3.7 muestra un diagrama funcional del sistema que permite gestionar de mejor manera los problemas del sistema, con el fin de brindar una solución óptima en el inmueble.

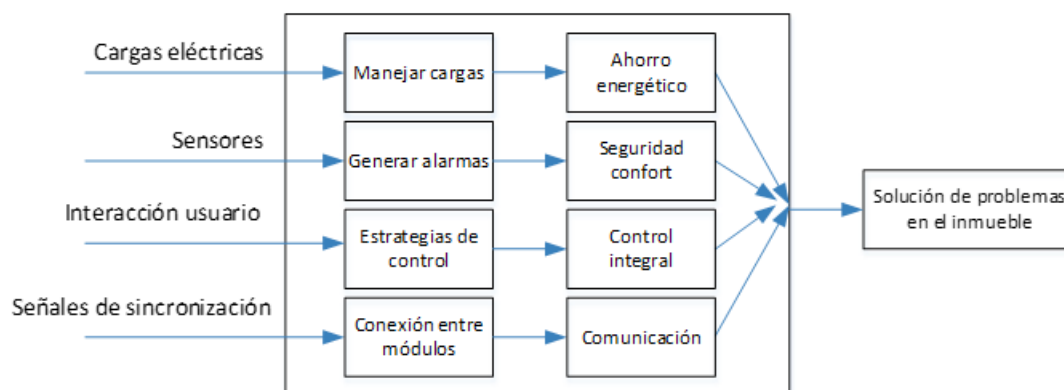


Figura 3.7. Diagrama funcional del sistema de gestión del inmueble

3.1.4 Árbol de conceptos

Considerando el diagrama funcional del sistema se plantean varias soluciones para cada variable de entrada, tomando en cuenta la funcionalidad y el objetivo a cumplir según los requerimientos del usuario.

La Figura 3.8 muestra los posibles escenarios para la gestión de cargas eléctricas.

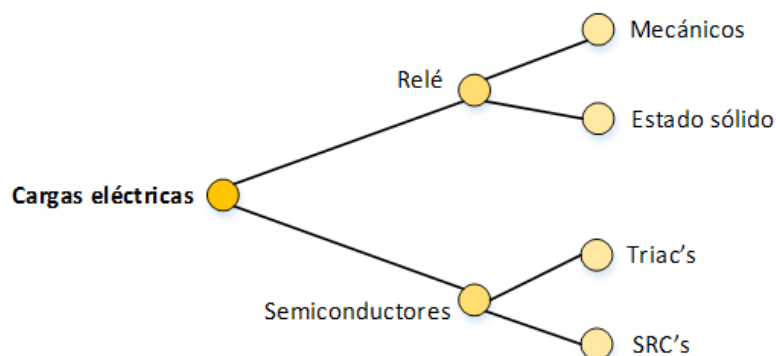


Figura 3.8. Desarrollo de conceptos para gestión de cargas eléctricas

La Figura 3.9 muestra los posibles escenarios para la gestión de sensores.

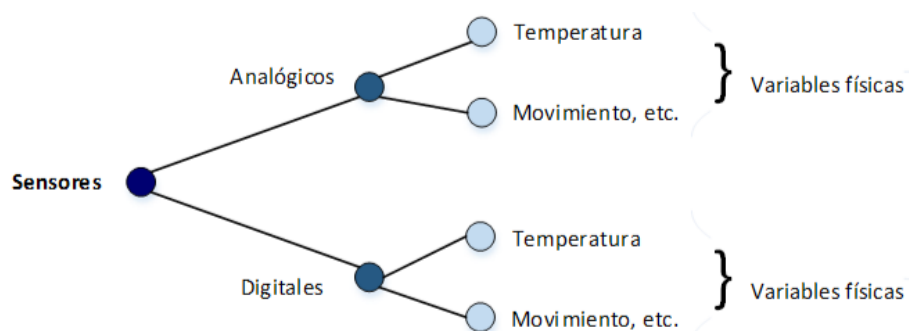


Figura 3.9. Desarrollo de conceptos para gestión de sensores

La Figura 3.10 muestra los posibles escenarios para la gestión de sincronización.

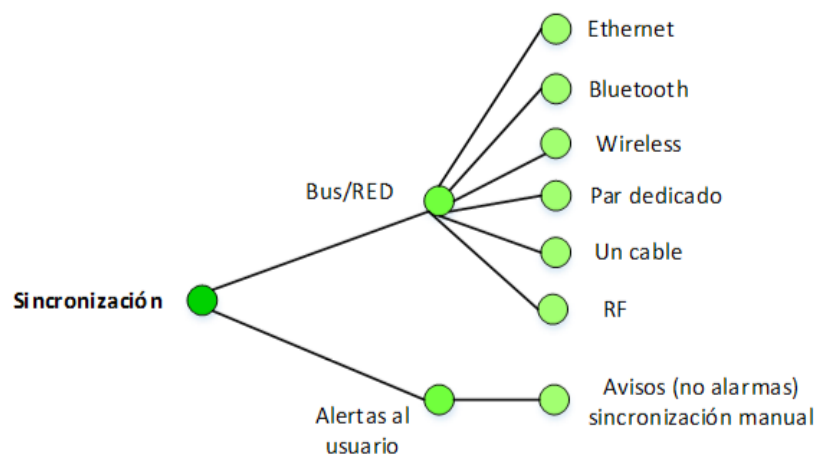


Figura 3.10. Desarrollo de conceptos para gestión de sincronización entre sensores y módulos del sistema

La Figura 3.11 muestra algunos de los posibles escenarios para la gestión de interacción de usuario.

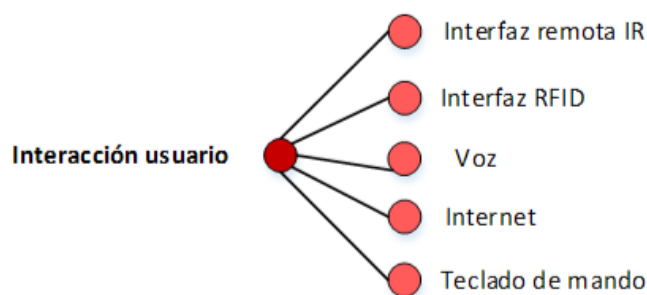


Figura 3.11. Desarrollo de conceptos para gestión de interacción de usuario

3.1.5 Solución generada para el sistema

La Figura 3.12 muestra la solución óptima para el sistema, la cual es generada a partir de los árboles de conceptos previos.

La Figura 3.12 comienza planteando las diferentes interfaces de interacción que dispondrá el usuario, e.g. IR (infrarrojo), RFID (identificación por radiofrecuencia), voz, internet y teclado, todas ellas consideradas en la solución del producto. Para la gestión de cargas eléctricas se plantea el uso de TRIACs, en virtud a los beneficios que se puede obtener de ellos, e.g. el control de ángulo de disparo necesario para regular la potencia en las cargas, además de relés mecánicos para el control de otras cargas lumínicas.

Los sensores a utilizar serán de dos tipos, analógicos para el caso del sensor de luz, y digitales para el sensor de temperatura y sensor de movimiento, acorde a lo que dispone la tecnología de Arduino. Finalmente, lo más importante del diseño integral es elegir la vía de comunicación entre controladores dentro del inmueble, considerando que sensores y actuadores se conectan directamente al controlador por medio de cables. La solución más efectiva es usar comunicación inalámbrica de radiofrecuencia (RF, por sus siglas en inglés) con el fin de poseer un sistema escalable y reducir el impacto en la instalación.

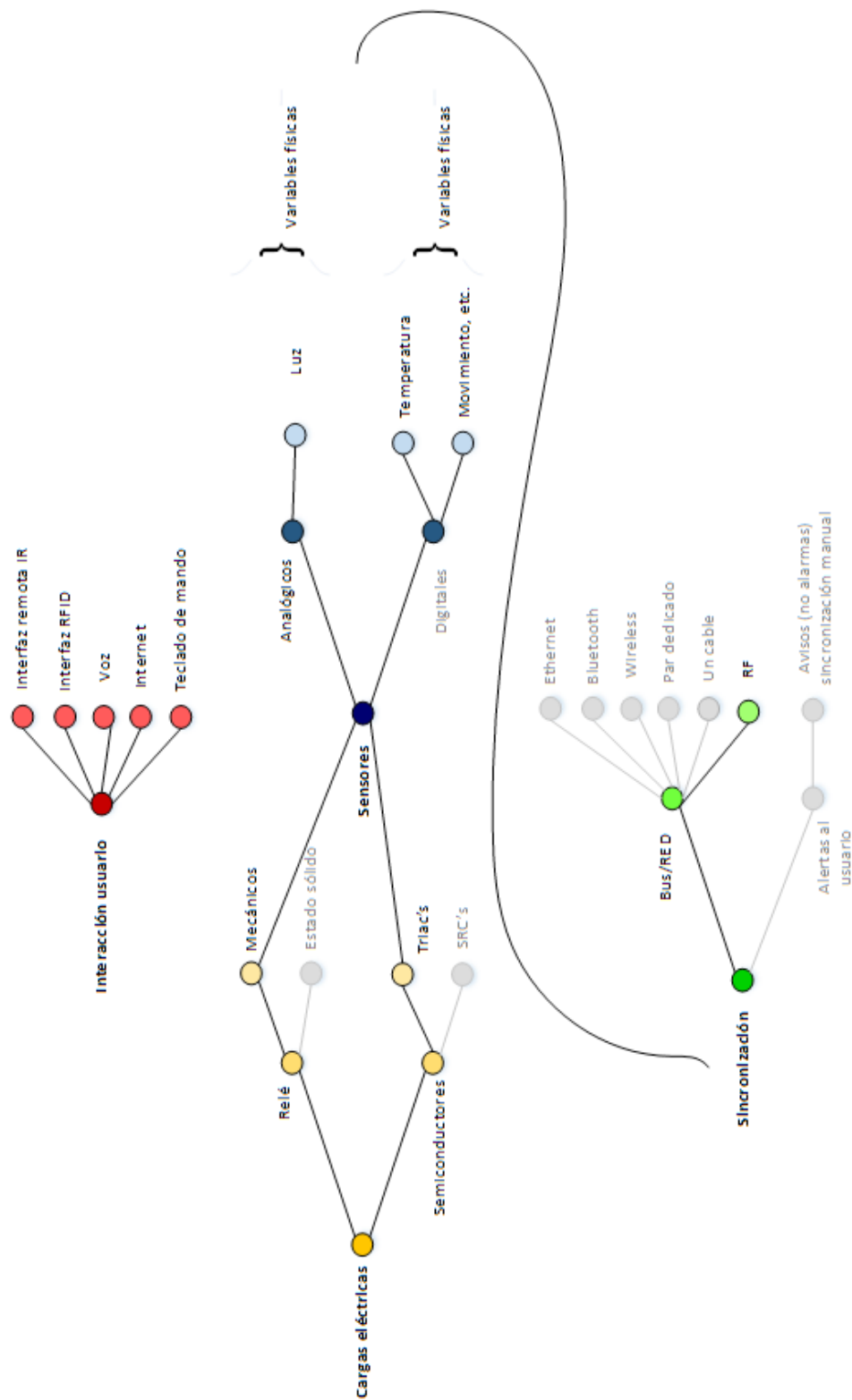


Figura 3.12. Concepto del producto

3.2 Diseño y programación del sistema domótico usando la tecnología LCN

Considerando los requerimientos de usuario y la solución propuesta en el diseño del producto, se realiza el diseño de la red para el sistema domótico usando la tecnología LCN.

El prototipo nos permite realizar el control de luminarias con dimerización o sin ella, en diferentes ambientes. También es posible gestionar dispositivos periféricos como el control de acceso RFID, control infrarrojo, detección de movimiento y detección de temperaturas.

El concepto principal del proyecto pretende que el entorno domótico implementado funcione como un sistema integral, es decir, que tenga la capacidad de comunicarse desde cualquier módulo esclavo hacia el principal. Por tal motivo el sistema LCN incluye, a la alimentación regular de energía brindada por el suministrador, un cable adicional, exclusivo para el envío y recepción de datos, como se observa en la Figura 3.13.



Figura 3.13. Cable de datos adicional a la alimentación eléctrica

Uno de los requerimientos de usuario es el control de luminarias, con un interés especial en su dimerización. El módulo LCN-UPP provee de salidas dimerizables (S1 y S2) a través de TRIACs. El módulo es alimentado por un voltaje de 120AC y adicionalmente deberá conectarse el cable de datos del sistema, tal como se muestra en la Figura 3.14.

El módulo también posee una interfaz sensorial tipo I en las que es posible conectar sensores de temperatura, movimiento, etc. Además, dispone de puertos tipo T a los que se podrán conectar teclados (LCN-GT6W, etc.) y sensores de luz (LCN-LSH, etc.). Ambos puertos nos permiten realizar conexiones en cascada y comunicación con otros módulos.

En caso de requerir un control no dimerizable para la iluminación, se dispone del módulo LCN-R8H, el cual posee salidas binarias, a través de relés. Este módulo recepta datos a través del puerto P desde el módulo LCN-SH. El módulo LCN-SH es un sensor/actuador provisto de salidas electrónicas y puertos tipo T, I y P para la recepción de sensores y actuadores.

Los puertos T e I restantes en el módulo LCN-SH, se utilizan para añadir pulsantes convencionales a través de un módulo adaptador, denominado LCN-T8, así como, un módulo receptor infrarrojo para el control remoto de algunos elementos de la vivienda, respectivamente.

Los requerimientos de usuario demandan al sistema domótico ofertado, la implementación de un control de acceso RFID. El módulo LCN-UT permite satisfacer este requerimiento. Este módulo es alimentado por una fuente de corriente continua de 16VCC desde el módulo LCN-NU16. Sin embargo, similar voltaje puede obtenerse a partir de adaptadores comerciales. El módulo LCN-UT se conecta con el módulo LCN-UPS, para intercambiar datos.

El módulo LCN-UPS es un módulo sensor que se conecta hacia la red y datos del sistema, como se observa en la Figura 3.14. Para el caso del proyecto desarrollado, en su puerto T se encuentra el sensor de luz, LCN-LSH.

Una vez concluido el proceso de instalación del sistema domótico, se realiza la programación de los módulos inteligentes del sistema (LCN-UPP, LCN-UPS, LCN-LSH, LCN-SH, LCN-R8H, LCN-GT6, LCN-UT). El software de programación es LCN-PRO, que permite la comunicación de los módulos con su programación mediante una interfaz serial, ethernet o USB.

En el proyecto la comunicación se establecerá a través del módulo LCN-PK. La Figura 3.14 muestra el esquema eléctrico del sistema domótico implementado. La configuración y programación del sistema se presenta en el Anexo C.

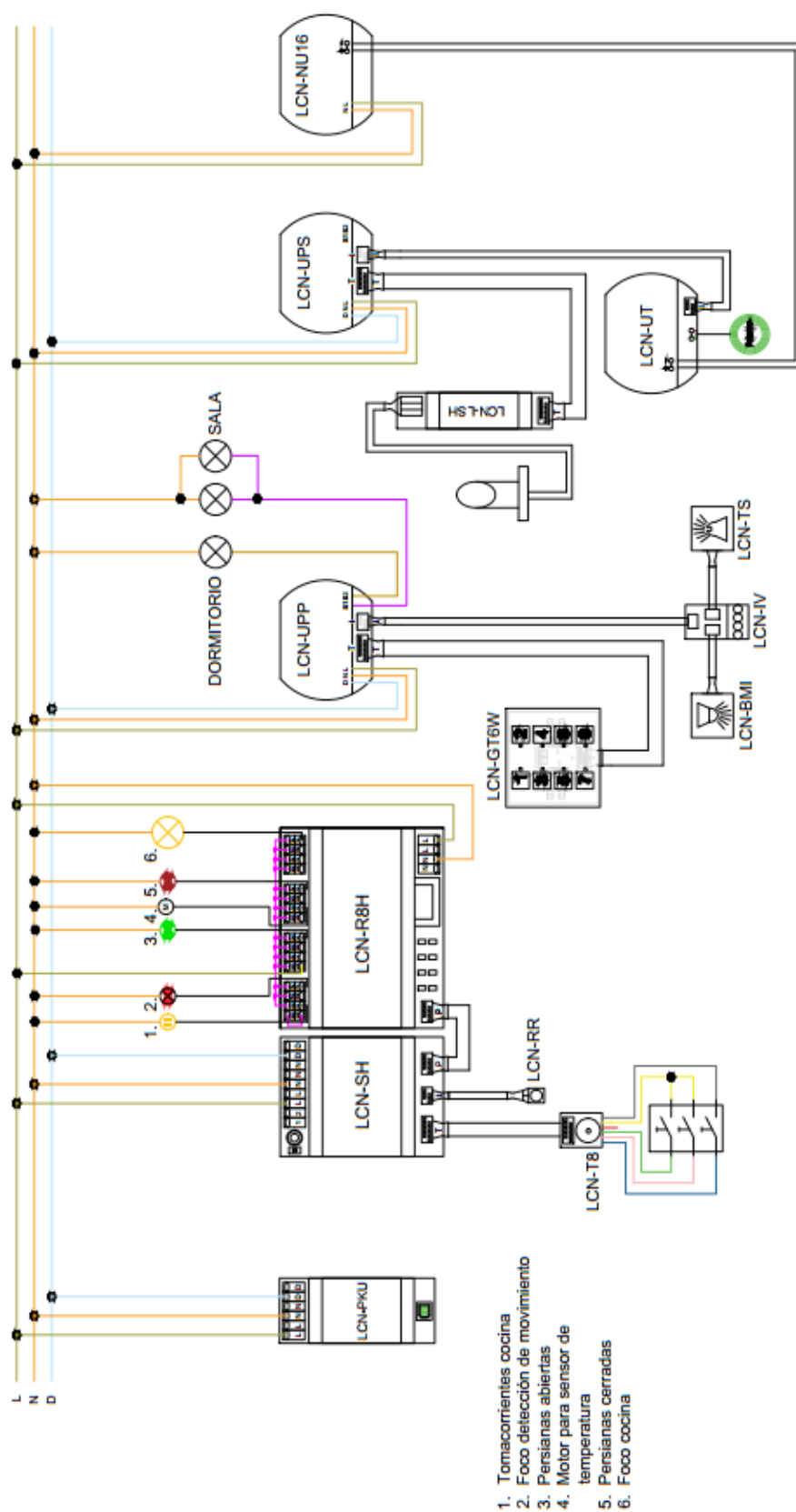


Figura 3.14. Diagrama eléctrico del sistema domótico implementado con la tecnología LCN

3.3 Diseño y programación del sistema domótico usando la tecnología Arduino

El diseño del producto determinado por el QFD se implementa usando la tecnología Arduino.

Con el objetivo de obtener un sistema domótico centralizado, es necesaria la presencia de sensores encargados de recopilar información de cada ambiente y escenario. Esta información es procesada en el sistema central, y de acuerdo a las necesidades del usuario son ejecutados por sus correspondientes actuadores. Además, se debe brindar la posibilidad de un control manual del sistema desde varios dispositivos.

Una descripción general de la configuración y programación de los módulos de Arduino, junto con los sensores y actuadores se encuentra detallada en el Anexo D.

3.3.1 Arquitectura de comunicación

El sistema domótico implementado posee una arquitectura centralizada. La placa máster o controlador central, se encarga del monitoreo y control del sistema en base a la información procesada. La Figura 3.15 muestra la arquitectura de comunicación del sistema domótico usando la tecnología Arduino. Así, el sistema está conformado por las placas *Arduino Uno* y el *Arduino Mega 2560*, esta última es destinada a ser el controlador central debido a su mayor capacidad de memoria SRAM, 8KB frente a 2KB del *Arduino Uno*, además de una mayor cantidad de pines disponibles (54).

Los sensores de luz (BH1750), de temperatura y humedad (DHT11), junto a un lector de tarjetas RFID (RC522) y un receptor IR (infrarrojo) se encuentran conectados directamente a la placa del *Arduino Uno* y enviarán información a ella. Además, se ha incluido un servomotor como actuador y un módulo de comunicación inalámbrica RF (nRF24L01) que será el bus de datos del sistema.

El sensor de luz utiliza una comunicación I2C con un rango de resolución oscilante entre 1 lx y 65535 lx, mientras que el sensor de temperatura y humedad se comunica a través de un solo bus de datos. Los módulos RC522 y nRF24L01 comparten las mismas líneas del protocolo SPI: MISO, MOSI y CLK, además cuentan con una línea específica (SS) para la selección de cada dispositivo. La comunicación del receptor IR es en base al protocolo NEC (protocolo de comunicación infrarrojo).

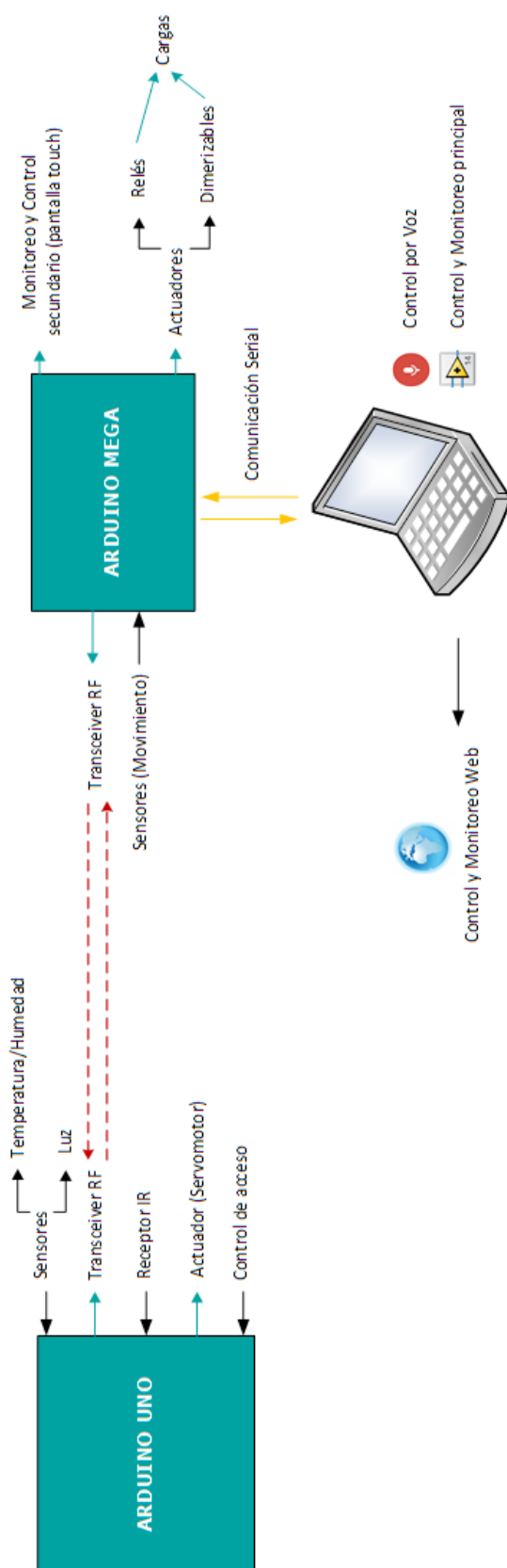


Figura 3.15. Arquitectura y funcionamiento del sistema domótico con Arduino

A la placa *Arduino Mega 2560*, se encuentra conectada los siguientes actuadores:

- Dos circuitos de dimerización
- Un módulo de cuatro relés, gestionado para accionar tres luces y un ventilador
- Seis pulsantes convencionales para vivienda
- Un sensor de movimiento
- Una pantalla táctil TFT de 2.8"

La pantalla TFT permite monitorear y controlar todo el sistema, y es una de las dos interfaces implementadas. Además, se ha incluido un transceptor nRF24L01 de 2,4GHz de radio, y una interfaz SPI de alta velocidad para el control de la aplicación y comunicación entre las placas Arduino.

3.3.2 Funcionamiento del sistema

El funcionamiento del sistema se centra en el controlador *Arduino Mega 2560*, éste monitorea y controla la mayor parte del sistema, y es el encargado de generar las acciones hacia los actuadores en función de la configuración y programación previa.

El *Arduino Uno* consiste en una pequeña parte procesadora del sistema, éste constantemente realiza una lectura de los sensores de luz, de temperatura y humedad; almacena, procesa y envía los datos al controlador central a través del transceptor RF. Además, recibe señales a través del receptor IR y con cada lectura, envía una acción de control a la placa *Arduino Mega 2560* para su ejecución en los actuadores.

Además, *Arduino Uno* controla el acceso a través de un lector de tarjetas RFID. A cada tarjeta le corresponde una acción que se ejecuta según la programación del sistema; también acciona el servomotor, el cual controla la puerta principal.

Todos los datos recolectados y procesados por el Arduino Uno son comunicados al controlador central *Arduino Mega 2560* a través del transceptor inalámbrico. Esta acción es necesaria para el monitoreo y control que se encuentra en la pantalla TFT. Además, *Arduino Mega 2560* se comunica con el computador, donde se alojará la interfaz hombre máquina (HMI, por sus siglas en inglés).

La pantalla táctil permite visualizar el estado de cada uno de los actuadores (luces, ventilador, servomotor). Además, es posible conocer el estado de los datos almacenados en los sensores de luz, movimiento, temperatura y humedad. Por otro lado, nos permite controlar el sistema, accediendo a diferentes paneles programados para el control de la vivienda domótica (dimerización, luces, acceso, sensores, escenas).

El controlador central escucha constantemente mensajes de control, provenientes del controlador *Arduino Uno*, la pantalla táctil o los pulsantes. Señales de entrada también pueden obtenerse desde la HMI del computador a través de la comunicación serial implementada. Esta interfaz HMI brinda al usuario un fácil control y monitoreo en tiempo real de los elementos del sistema. La configuración requerida para los módulos RF se detallan en el Anexo D.

El sistema domótico brinda un control a través de mandos por voz gracias a un servidor web situado en el computador, éste hace uso del recurso de reconocimiento de voz de que brinda Google Chrome, y que se halla detallado en el Capítulo 4.

3.3.3 Esquema de conexión

La Figura 3.16 muestra el esquema de conexión para el controlador *Arduino Uno*, conjuntamente con los sensores de luz, temperatura y humedad, lector de tarjetas RFID, el receptor infrarrojo, el servomotor y el transceptor nRF24L01.

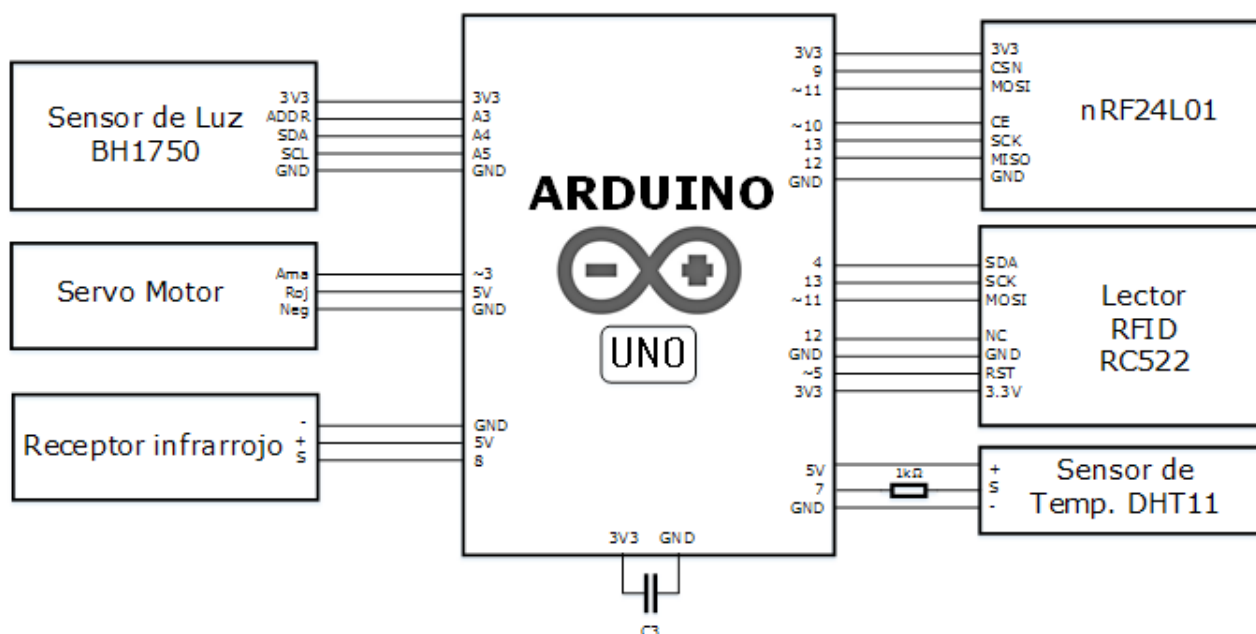


Figura 3.16. Esquema de conexión del Arduino Uno con los módulos del sistema

La Figura 3.17 muestra el esquema de conexión para el controlador central *Arduino Mega 2560* y sus componentes. La mayor parte de actuadores del sistema están conectados directamente a la placa, además de la pantalla táctil debido al mayor número de pines que posee. Finalmente, se incluye el transceptor nRF24L01 para el bus de comunicación.

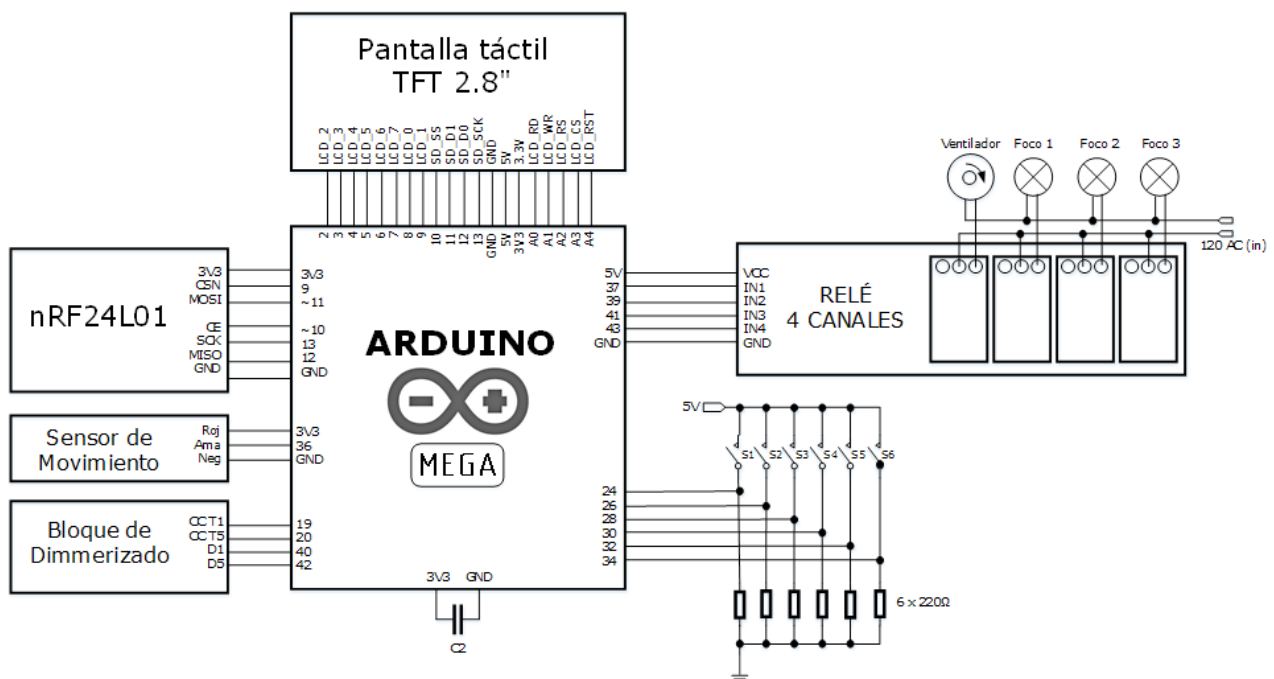


Figura 3.17. Esquema de conexión del Arduino Mega 2560 con los módulos del sistema

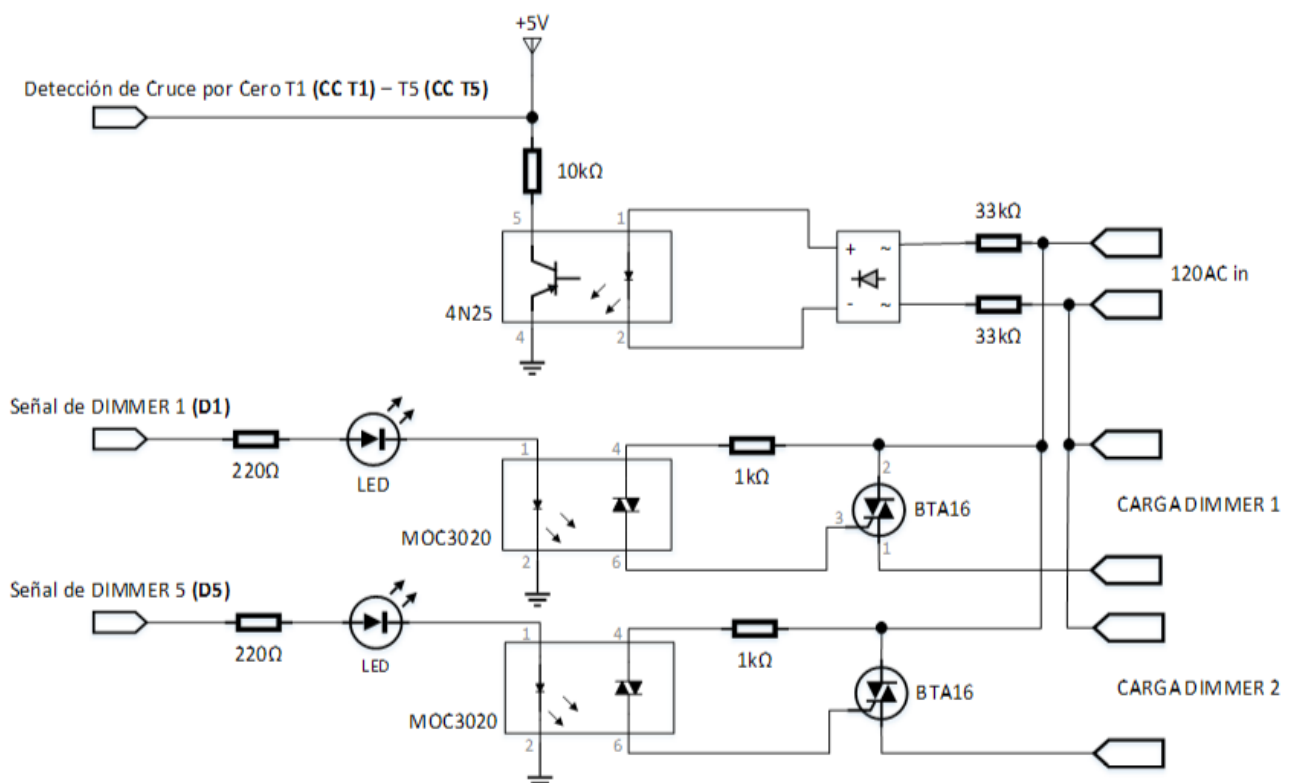


Figura 3.18. Esquema de conexión del bloque de dimerización

La Figura 3.18 muestra el esquema de conexión para la dimerización de las lumina-

rias incandescentes, el cual la componen dos partes fundamentales, que son: la detección de cruce por cero y el ángulo de disparo. Por lo tanto, se utiliza el opto acoplador 4N25, el cual cerrará su circuito interno cada vez que detecte en sus terminales voltaje positivo luego de un cero como entrada. Entonces, por la rectificación de onda completa previa, el opto acoplador detectará un cruce por cero cada medio ciclo de la onda, como se muestra en la Figura 3.19. La señal senoidal en la entrada del rectificador posee un valor de voltaje considerablemente más bajo del normal, debido a las resistencias colocadas en la entrada AC.

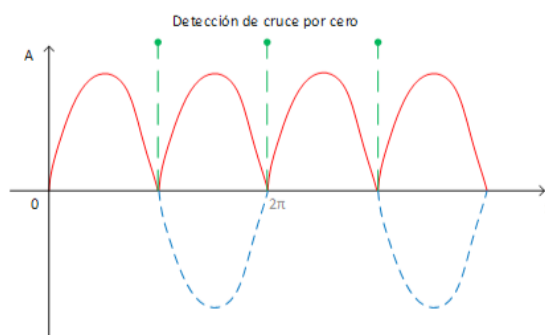


Figura 3.19. Rectificación de onda completa y detección de cruce por cero

La señal generada por la detección de cruce por cero es enviada a la placa *Arduino Mega 2560* para su registro, la misma que habilitará una interrupción, y posteriormente será utilizada como referencia del punto de inicio del conteo del timer para el ángulo de disparo. Con los pulsantes colocados en los pines 24 al 30 activamos el conteo de los timer 1 y 5 según el ambiente (dormitorio o sala) en el cual deseamos controlar su luminaria. Por lo tanto, según el tiempo de acción del pulsante el timer correspondiente realiza el conteo y a la vez modifica la posición del ángulo de disparo. Esta señal llega al TRIAC BTA10 (bidireccional), produciendo la variación en la onda senoidal y su control de la misma, permitiendo dimerizar la salida a la carga, como se muestra en la Figura 3.20. Un solo pulso enciende o apaga las luminarias totalmente. El opto acoplador MOC3020 sirve únicamente para aislar las placas Arduino de la parte de potencia.

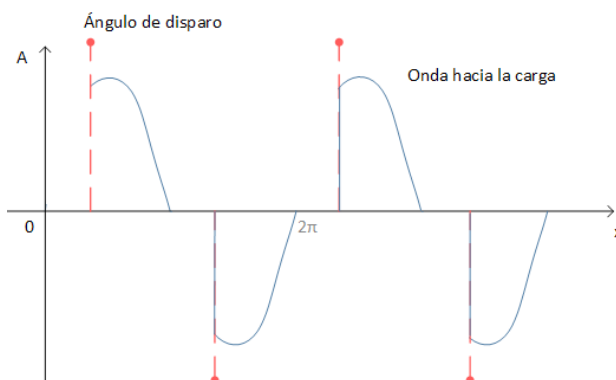


Figura 3.20. Control del ángulo de disparo en la alimentación de la carga

3.4 Control y monitoreo del sistema domótico Arduino desde el HMI de LabVIEW

La HMI para el control y monitoreo del sistema se ha implementado en el software de LabVIEW, el cual se encuentra conectado directamente por medio del computador a la placa *Arduino Mega 2560*. La comunicación usa el protocolo serial, con una velocidad de 9600 bps (baudios por segundo). Además, la HMI se publica en un servidor web local, brindando un control y monitoreo remoto desde otros dispositivos externos. La Figura 3.15 muestra gráficamente la descripción realizada.

El HMI tiene acceso al estado de los sensores, actuadores, para su control y monitoreo. Así, la placa de *Arduino Mega 2560* envía mensajes de estado mediante el puerto serial, que inmediatamente son leídos por LabVIEW y actualizados en la interfaz. Por lo tanto, si se produce un cambio en el estado de las luminarias y/o sensores a través de la pantalla táctil, pulsantes o control infrarrojo; Arduino produce el evento y genera un mensaje con los caracteres correspondientes a cada acción, que a la vez serán reconocidos por la HMI y actualizados en ella.

La actualización de valores de los sensores y eventos de dimerización, se realiza mediante mensajes escritos en el puerto serial por parte de *Arduino Mega 2560* y que son leídos por LabVIEW. Estos están compuestos por caracteres de identificación y el valor del sensor o carga dimerizables correspondiente. La Figura 3.21 muestra en un diagrama de flujo el proceso de actualización de los sensores. Mientras, la Figura 3.22 muestra el diagrama de flujo correspondiente a la actualización en el estado de las cargas dimerizables.

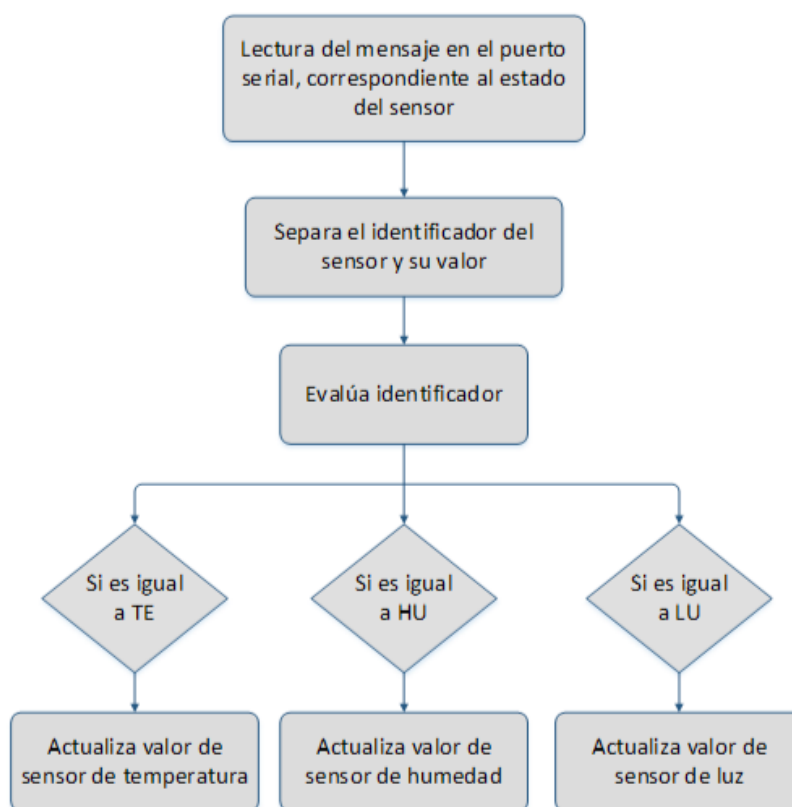


Figura 3.21. Diagrama de flujo para la actualización del estado de sensores

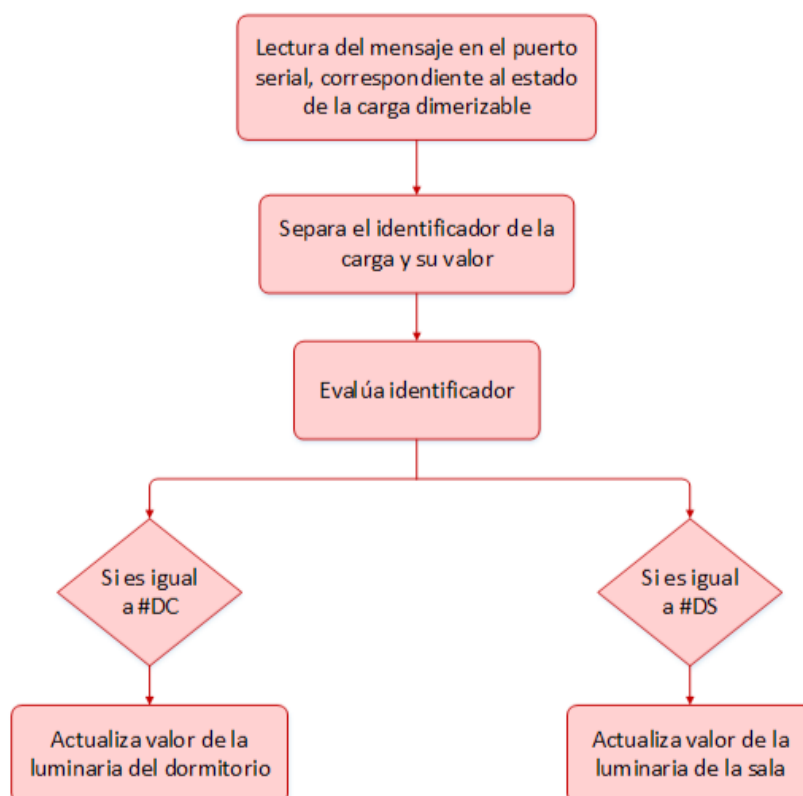


Figura 3.22. Diagrama de flujo para la actualización del estado de las cargas dimerizables

El control de luces incandescentes implementado permite realizar cambios fijos de estado, es decir, prenderlas y apagarlas completamente; incluido aquellas que se consideran dimerizables. La Figura 3.23 muestra en un diagrama de flujo la programación realizada para este control.

La dimerización de las cargas lumínicas en el HMI, se puede realizar de dos formas, mediante saltos fijos de $\pm 25\%$ o a través de una perilla.

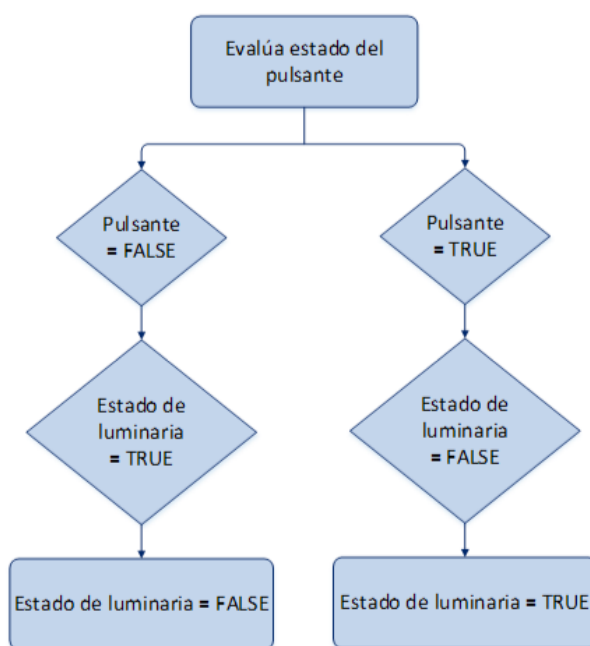


Figura 3.23. Diagrama de flujo para el cambio de estado fijo de las cargas de iluminación

El cambio de estado y/o valor de cargas o sensores, también son escritos en el puerto serial, con el fin de actualizar la interfaz táctil, y demás controladores del sistema.

La Figura 3.24 muestra el interfaz HMI final que consta de todos los elementos de control para el prototipo implementado, las configuraciones predeterminadas para la comunicación serial y la lectura de los comandos provenientes del reconocimiento de voz.

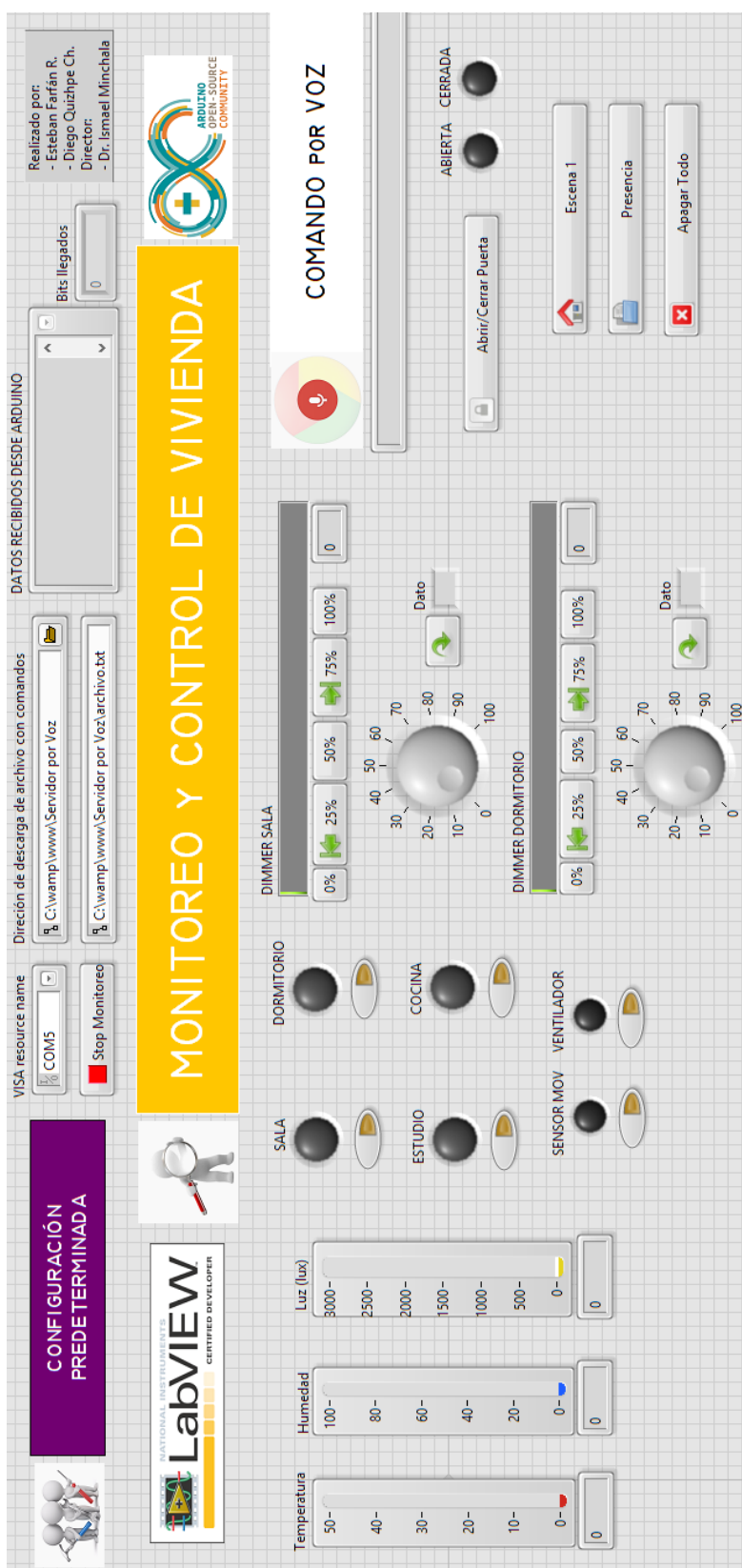


Figura 3.24. HMI final

CAPITULO 4

DESARROLLO DEL SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE
COMANDOS DE VOZ

4.1 Desarrollo e implementación del algoritmo

4.1.1 Introducción

El reconocimiento de comandos de voz para automatizar tareas repetitivas en el hogar, de acuerdo a los datos obtenidos previamente, es una de las mayores exigencias propuestas en este proyecto. Este sistema asiste a personas que poseen dificultad en la visión o movimiento de sus extremidades, y presentan complicaciones al interactuar con controles manuales.

El sistema de reconocimiento de comandos de voz (SRCV) para automatizar funciones repetitivas en el hogar, se propone desarrollar de la siguiente manera:

1. Utilizando el plug-in de Google Chrome se realiza el reconocimiento de los comandos de voz.
2. Se escribe en un archivo de texto los comandos válidos reconocidos por el sistema.
3. El software LabVIEW identifica recurrentemente cambios en los comandos escritos en el archivo de texto y actúa acorde a los cambios.
4. Se actualizan valores de las salidas del sistema domótico implementado con Arduino.

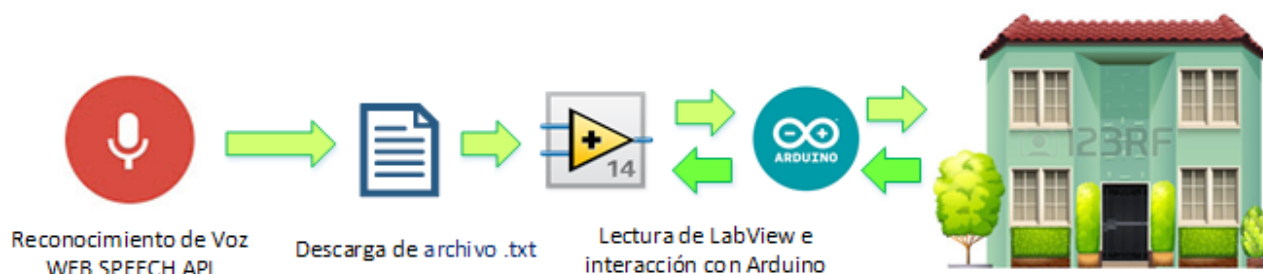


Figura 4.1. Esquema de funcionamiento del control domótico a través del SRCV

La Figura 4.1 presenta las etapas descritas anteriormente y que constituyen el proceso de reconocimiento por voz para el control domótico a implementarse. Los eventos que se producen en el prototipo por medio del SRCV, también son actualizados en los demás dispositivos periféricos de control disponibles en el sistema domótico. Para el caso particular de este proyecto, son: pantalla táctil Arduino y control web. A continuación, se describen las etapas implementadas.

4.1.2 Reconocimiento de voz usando Web Speech API

El correcto funcionamiento del SRCV es fundamental para el desarrollo del proyecto, pues permite ofrecer alto confort al usuario final. Por tal motivo, se ha elegido el uso del recurso de reconocimiento de voz disponible en el navegador Google Chrome, denomina-

do Web Speech API. La Figura 4.2 muestra la interfaz demostrativa de este recurso en el navegador web.

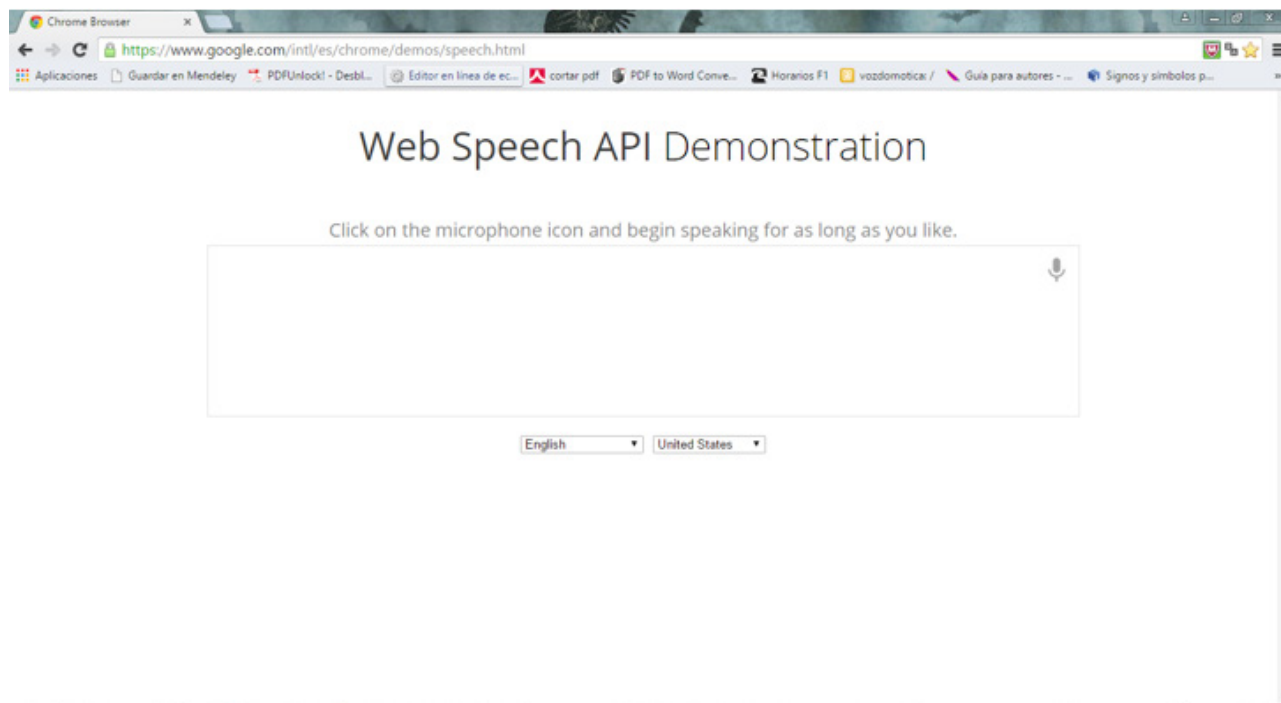


Figura 4.2. Web Speech API Demonstration (Google Chrome)

4.1.2.1 Concepto de la Web Speech API

En [32] se define a la Web Speech API como una aplicación enfocada a desarrolladores, proveyéndoles de una entrada de voz y síntesis de texto a voz en el navegador web. Esta API además brinda privacidad a los usuarios, pues se requiere de la concesión de permiso para acceder al recurso.

4.1.2.2 Compatibilidad del navegador

Este recurso fue lanzado en el año 2012. Google Chrome, es el único navegador que lo soporta hasta la actualidad, a partir de su versión 25.

El navegador Google Chrome utiliza el prefijo webkit para el soporte de la API. Por lo tanto, es necesario crear un objeto de reconocimiento de voz, donde se recolecte y verifique información de compatibilidad con el navegador utilizado, el cual puede observarse en el Anexo E.

4.1.2.3 Propiedades y métodos fundamentales

La instancia creada por la API, utiliza el método llamado *speechRecognition()*. Este método se tomó directamente del código fuente de la aplicación de demostración, y posee

los siguientes sub-métodos [33]:

- **onstart:** Devolución de llamada que se ejecuta cuando el servicio de reconocimiento comienza a escuchar el audio con la intención de reconocer.
- **onresult:** Devolución de llamada que se ejecuta cuando el reconocedor de voz devuelve un resultado obtenido.
- **onerror:** Devolución de llamada que se activa cuando se produce un error de reconocimiento de voz.
- **onend:** Devolución de llamada que se activa cuando el servicio fue cerrado o detenido.

Además, es posible establecer la forma en que se ejecuta la API, es decir, determinar si se desea que ésta funcione de forma continua o con intermitencias que deberán ser activadas cada vez que se requiera del servicio.

Comprobada la compatibilidad del navegador con el recurso, se inicia el reconocimiento de voz a través del sub-método *onstart*. El resultado del reconocimiento se presenta en la interfaz mediante el sub-método *onresult*. La programación de los sub-métodos descritos se muestra en el Anexo E.

El resultado final del reconocimiento culmina en el momento que el usuario termina de hablar, por ende, el contenido que se muestre en el `div`¹ en muchos de los casos será extenso. Por lo tanto, es necesario limitar el número de caracteres que se presentan como resultado del reconocimiento. El programa desarrollado limita el resultado a un máximo de 50 caracteres, y se lo puede observar en el Anexo E.

Para que un comando sea válido se debe anteceder la palabra “*control*”, así inmediatamente la API lo reconoce, lo descarga en un archivo de texto y lo presenta en el `div` de la interfaz. El archivo `.txt` descargado es el enlace entre el software de control LabVIEW y el ejecutor Arduino. Es recomendable direccionar la ruta de descarga hacia una carpeta vacía, que agilite y optimice la lectura del archivo por parte de LabVIEW. El archivo es eliminado una vez que ha sido leído, a la espera de la nueva descarga. En el Anexo E se presenta parte del código de lo descrito anteriormente.

La Figura 4.3 muestra un diagrama de flujo que resume el proceso interno que realiza el SRCV del sistema domótico. La Figura 4.4 muestra la interfaz final implementada.

1

La etiqueta `div` agrupa varios elementos en un solo bloque y permite añadir estilos personalizados.

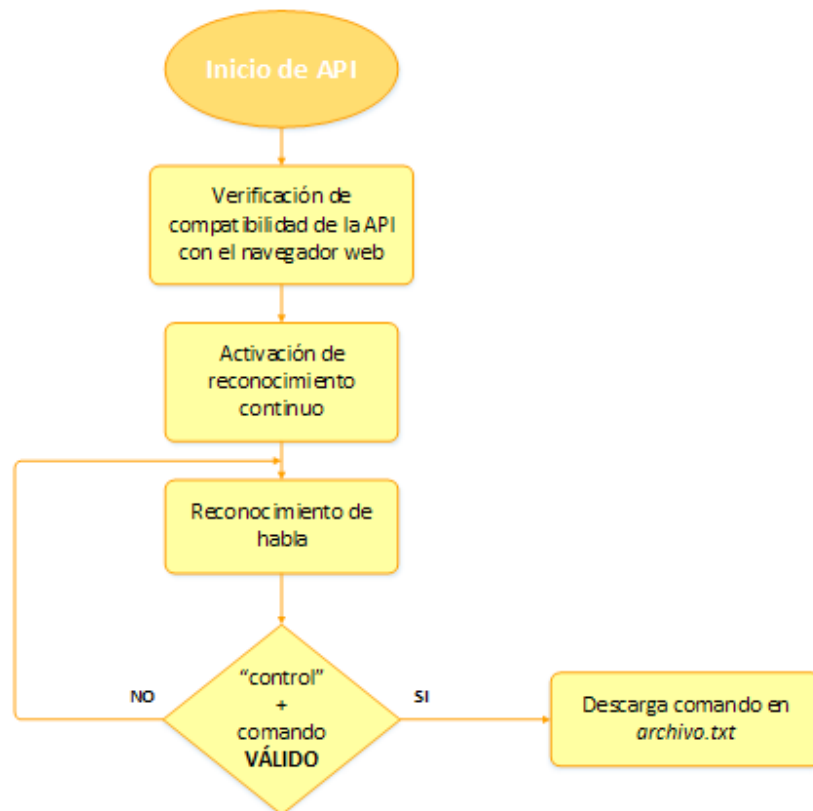


Figura 4.3. Diagrama de flujo del SRCV



Figura 4.4. Interfaz web para el SRCV

4.1.3 Lectura y ejecución de comandos por voz mediante LabVIEW

El proceso de lectura de los comandos válidos provenientes del SRCV, se resumen de la siguiente manera:

- Configuración de la ruta desde donde LabVIEW realizará la búsqueda.
- Orden de los archivos del directorio especificado.
- Búsqueda del archivo contenedor del comando (*archivo.txt*).
- Acceso al archivo.txt y lectura de su contenido.
- Ejecución de la estructura de control case según el comando leído.
- Cierra y elimina el archivo del directorio.

Para los diferentes comandos válidos se utilizan estructuras de control case.

La Tabla 4.1 presenta la lista de comandos que válidos para el SRCV, y el software de control. Cada comando leído por LabVIEW, realiza una acción en sus respectivos actuadores. Así, e.g., el comando “*sala 25*” encenderá un 25% la iluminación de dicho ambiente. Para el comando “*encender luces cocina*”, este encenderá completamente la luminaria, etc.

Tabla 4.1. Lista de comandos de voz válidos para el SRCV

Comando válido SRCV	Acción Arduino
<i>encender luces cocina</i>	Foco cocina 100%
<i>apagar luces cocina</i>	Foco cocina 0%
<i>encender luces estudio</i>	Foco estudio 100%
<i>apagar luces estudio</i>	Foco estudio 0%
<i>encender luces sala</i>	Foco sala 100%
<i>apagar luces sala</i>	Foco sala 0%
<i>encender luces dormitorio</i>	Foco dormitorio 100%
<i>apagar luces dormitorio</i>	Foco dormitorio 0%
<i>sala 25</i>	Foco sala 25%
<i>sala 50</i>	Foco sala 50%
<i>sala 75</i>	Foco sala 75%
<i>dormitorio 25</i>	Foco dormitorio 25%
<i>dormitorio 50</i>	Foco dormitorio 50%
<i>dormitorio 75</i>	Foco dormitorio 75%
<i>abrir puerta</i>	Abre puerta principal
<i>cerrar puerta</i>	Cierra puerta principal
<i>activar ventilador</i>	Activa ventilador de cocina
<i>desactivar ventilador</i>	Desactiva ventilador de cocina
<i>activar sensor de movimiento</i>	Activa el foco de acción del sensor de movimiento

<i>desactivar sensor de movimiento</i>	Desactiva el foco de acción del sensor de movimiento
<i>escena 1</i>	Enciende los focos de cocina y estudio el 100%
<i>simulación de presencia</i>	Enciende focos de sala y dormitorio un 28%
<i>apagar todo</i>	Apaga todas las cargas (luces) y cierra la puerta

4.2 Pruebas del algoritmo de SRCV

El uso del recurso de Google Chrome para el SRCV garantiza eficiencia en el reconocimiento de voz. Por lo que, en las pruebas realizadas se usó únicamente los comandos válidos.

Tabla 4.2. Resultados de las pruebas del SRCV

Intensidad de voz	Velocidad del habla	Distancia al micrófono	Estado
Medio	Lento	50 cm	Reconocido (3ro. intento)
		1.5 m	No reconocido
		3 m	No reconocido
	Medio	50 cm	Reconocido (1er. intento)
		1.5 m	Reconocido (2do. intento)
		3 m	Reconocido (2do. intento)
	Rápido	50 cm	No reconocido
		1.5 m	No reconocido
		3 m	No reconocido
Alto	Lento	50 cm	Reconocido (2do. intento)
		1.5 m	Reconocido (2do. intento)
		3 m	No reconocido
	Medio	50 cm	No reconocido
		1.5 m	No reconocido
		3 m	No reconocido
	Rápido	50 cm	No reconocido
		1.5 m	No reconocido
		3 m	No reconocido

La Tabla 4.2 muestra las diferentes pruebas realizadas para el SRCV implementado, en el cual se interactúa desde distintas posiciones, con diferente intensidad de voz y velocidad en el habla. Se concluye que, para una mayor eficiencia en el reconocimiento y a su vez en el control de los elementos domóticos, es recomendable cumplir con los siguientes requisitos:

-
- Poseer un mínimo de silencio en el entorno, con el fin de que el reconocedor pueda detectar el momento en que se ha terminado de pronunciar algún comando.
 - La intensidad de la voz deberá ser media, es decir, el nivel que regularmente hablamos.
 - La distancia mínima varía entre 1m y 2m.
 - A medida que nos alejamos del micrófono se debe incrementar el nivel de intensidad de la voz.
 - Se debe pronunciar a una velocidad promedio, para permitir que el reconocedor interprete correctamente cada palabra dicha.

Es importante tener en cuenta al primer ítem descrito, pues de él depende el correcto reconocimiento. En un entorno ruidoso, es recomendable acercarse al micrófono y elevar la intensidad en el tono de voz. Mientras, en un ambiente silencioso el SRCV actúa correctamente con una intensidad de voz media-baja y a distancias mayores de las recomendadas.

CAPITULO 5

PRUEBAS Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL
SISTEMA DOMÓTICO

5.1 Pruebas de funcionamiento del sistema domótico usando la tecnología LCN

5.1.1 Conexión de módulos

La conexión entre módulos es la más importante, y debe conocerse las direcciones de cada uno de ellos y no sobreponerlas en la programación.

Por lo tanto, al módulo receptor infrarrojo LCN-RR deberá asignársele las direcciones de las tablas C y D; más no las tablas A y B. Pues en el mismo módulo central se encuentran los pulsantes convencionales que ocupan las direcciones de la tabla A de la 1 a la 8.

La Tabla 5.1 presenta las asignaciones de direcciones utilizadas para la programación de los módulos LCN.

Tabla 5.1. Asignación de módulos del sistema domótico LCN

Módulo principal	Módulo secundario	Tabla/Dirección	Puerto
LCN-UPP	LCN-TE	A1, A2, A3, A4, A5, A6	T
	LCN-BMI	B4, B5, B6, B7	I
	LCN-TS	-----	
LCN-UPS	LCN-LSH	B1, B2	T
	LCN-UT	D1, D2, D3	I
LCN-SH	LCN-R8H	-----	P
	LCN-T8	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8	T
	LCN-RR	B / C	I

5.1.2 Prueba de comunicación entre módulos

La comunicación entre los módulos es la parte esencial del sistema domótico. De ello depende un eficiente funcionamiento, desarrollo y servicio al usuario. Por lo tanto, para probar dicha comunicación, se programó un código de eventos simples entre diferentes módulos. Permitiendo verificar que los datos del sistema se encuentren disponibles para todos los módulos LCN conectados a la red del sistema domótico.

La Figura 5.1 muestra el diagrama de conexión implementado para la prueba de comunicación. La Figura 5.2 muestra bus monitor del sistema, en el software LCN-PRO, se puede observar que se controla la salida dos del módulo 2 (LCN-UPP) desde el módulo 1 (LCN-SH) a través de un pulsante.

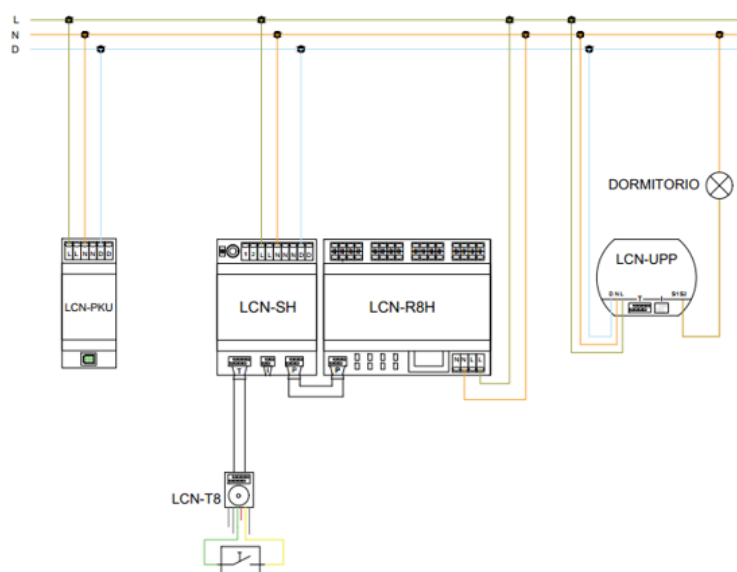


Figura 5.1. Diagrama de prueba de la comunicación entre los módulos

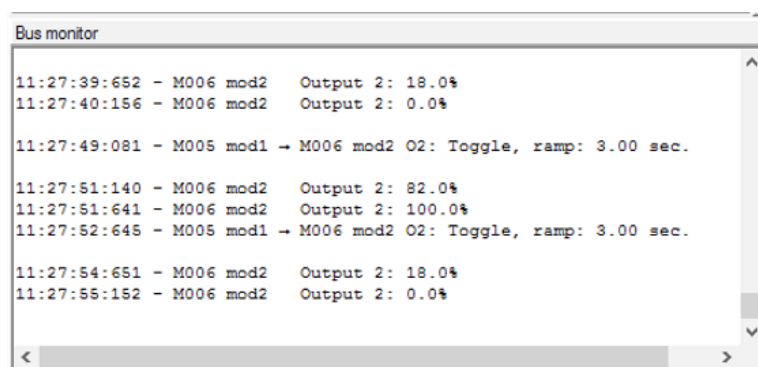


Figura 5.2. Monitoreo y verificación de la comunicación

5.1.3 Pruebas del control infrarrojo

El control infrarrojo es probado a través de la distancia entre receptor y transmisor. La Tabla 5.2 muestra las diferentes distancias en el que se probó el funcionamiento del receptor IR. El control infrarrojo requiere línea de vista con el receptor. La comunicación opera correctamente, es decir, el evento se ejecuta inmediatamente a distancias cortas. Conforme alejamos el transmisor y receptor el nivel de reacción decae. En distancias entre 5 y 10 metros la reacción es lenta y se necesita, en algunos casos, de más de un intento. Para distancias superiores a 10 metros la comunicación IR falla.

Prueba similar se realizó para el fijar el rango del ángulo al cual la señal infrarroja es incidente en el receptor. Así, se concluye que reacciona eficientemente hasta un ángulo de 160 grados, mientras en ángulos mayores la comunicación falla.

Tabla 5.2. Resultados de las pruebas de distancia del control remoto IR

Distancia Transmisor-Receptor IR	Estado
1m	Excelente
3m	Excelente
5m	Bueno
10m	Bueno
+12m	Malo

5.1.4 Pruebas de sensores

5.1.4.1 Sensor de luz

Los valores de umbral del sensor de luz varían de acuerdo al ambiente en donde éste se coloque, debido a la incidencia de luz sobre él. La Tabla 5.3 muestra los valores obtenidos de la lectura del sensor en un ambiente común de la vivienda, durante tres días. De los datos obtenidos en la Tabla 5.3 se definen los umbrales necesarios mediante un promedio de los valores leídos. Por lo tanto, el valor de histéresis será igual 10lx, equivalente a 60 según la calibración propuesta en la programación del sistema LCN y umbrales igual a 67lx.

Tabla 5.3. Resultados de las pruebas para el sensor de luz LCN-LSH

	Hora de lectura	Valor de luxes
	06:30 a.m.	75
DIA 1	10:00 a.m	978
	12:00 p.m	1148
	15:00 p.m	806
	18:00 p.m	109
	18:30 p.m	5
DIA 2	06:30 a.m	69
	10:00 a.m	778
	12:00 p.m	1107
	15:00 p.m	635
	18:00 p.m	90
	18:30 p.m	5
DIA 3	06:30 a.m	57
	10:00 a.m	522
	12:00 p.m	1289
	15:00 p.m	532
	18:00 p.m	87
	18:30 p.m	7

5.1.4.2 Sensor de temperatura

Para la configuración del sensor de temperatura LCN-TS el valor designado como umbral base es igual a 26°C, con un rango proporcional igual al 1°C, en modo “enfriamiento”. Dichos valores fueron definidos por un proceso de medición de la temperatura promedio en Cuenca. Así el sensor de temperatura actuará cuando su valor de temperatura detectado exceda en un 1°C.

5.2 Pruebas de funcionamiento del sistema domótico usando la tecnología Arduino

Finalizada la configuración del sistema domótico usando Arduino se realizó algunas pruebas de funcionamiento de sus módulos; cuyos inconvenientes y experiencias se describen en las siguientes subsecciones.

5.2.1 Pruebas del módulo inalámbrico nRF24L01

El correcto funcionamiento del bus de comunicación RF puede evaluarse mediante el envío de caracteres a través de los módulos que componen el sistema, como se puede observar en la Figura 5.3. Arduino Mega 2560 envía la cadena de texto: “Mensaje de prueba” a través del módulo nRF24L01 y el Arduino Uno recibe y lo muestra.

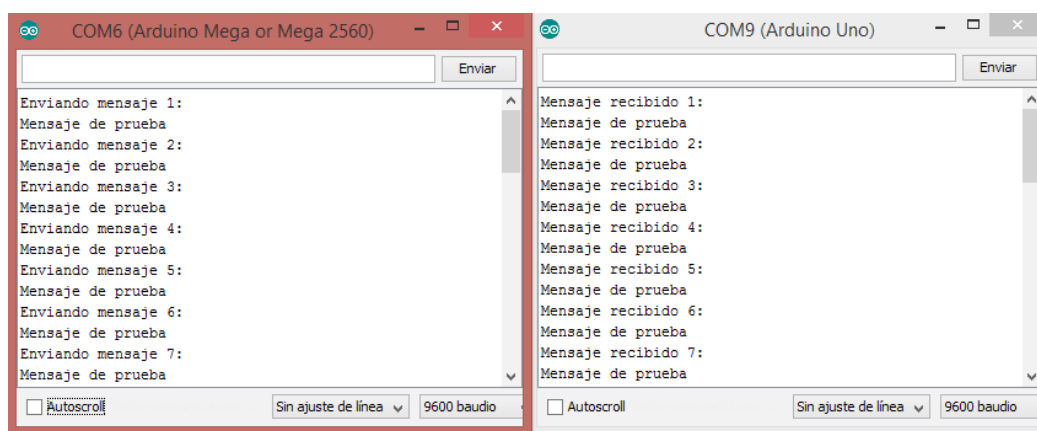


Figura 5.3. Prueba de funcionalidad de los módulos nRF24L01

De las pruebas realizadas se concluye que la distancia máxima de funcionamiento es 40 metros con línea de vista y 10 metros con obstáculos.

5.2.2 Pruebas del sensor de luz

Las pruebas del sensor de luz Arduino se realizaron de forma similar a lo descrito en la sección del pruebas del sistema LCN.

Tabla 5.4. Resultados de las pruebas para el sensor de luz Arduino

	Hora de lectura	Valor de luxes
DIA 1	06:30 a.m.	55
	10:00 a.m	993
	12:00 p.m	1164
	15:00 p.m	800
	18:00 p.m	115
	18:30 p.m	4
DIA 2	06:30 a.m	60
	10:00 a.m	794
	12:00 p.m	1006
	15:00 p.m	649
	18:00 p.m	100
	18:30 p.m	6
DIA 3	06:30 a.m	53
	10:00 a.m	535
	12:00 p.m	1320
	15:00 p.m	543
	18:00 p.m	90
	18:30 p.m	7

De la Tabla 5.4 se define el valor de umbral para las acciones de encendido y apagado automático de luces incandescentes, igual a 56lx. El valor determinado es un promedio de los valores leídos durante los días de prueba.

5.2.3 Pruebas del receptor IR

El receptor capta la señal infrarroja de su transmisor IR y proporciona señales de entrada a la placa Arduino Uno. La configuración del receptor se encuentra descrita en el Anexo D.

La Figura 5.4 muestra el resultado de las pruebas de funcionalidad del receptor IR, el cual imprime en el puerto serial la tecla presionada por el transmisor.

En las pruebas realizadas se han obtenido resultados satisfactorios de comunicación entre transmisor y receptor IR a una distancia máxima de 7,20 metros. A mayores distancias la señal de control falla, recibiendo datos erróneos o nulos.

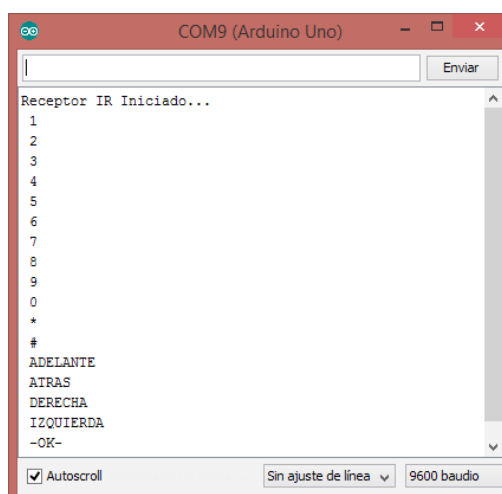


Figura 5.4. Prueba de funcionalidad del receptor IR

5.2.4 Pruebas de la pantalla táctil TFT LCD 2.8"

El Anexo D detalla la configuración de la pantalla táctil TFT LCD 2.8" con su driver correspondiente, LGDP4535. Inicialmente es necesario calibrar la pantalla TFT o fijando valores máximos y mínimos para el reconocimiento táctil.

Luego de varias pruebas con diferentes resultados en los valores de calibración, aquellos que han brindado el mejor reconocimiento táctil son los que se definen a continuación:

```
#define TS_MINX 120
#define TS_MINY 160
#define TS_MAXX 840
#define TS_MAXY 920
```

5.2.5 Pruebas del funcionamiento integral del sistema domótico

La Figura 5.5 muestra las primeras pruebas realizadas del sistema domótico final, dentro de un protoboard.

El sistema domótico inicial presentó un buen funcionamiento, por lo que, se procedió a realizar las placas de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés) para las conexiones con bus de datos en cada módulo sensor y actuador, como se puede observar en la Figura 5.6. Los diseños de las PCB se muestran en el Anexo F.

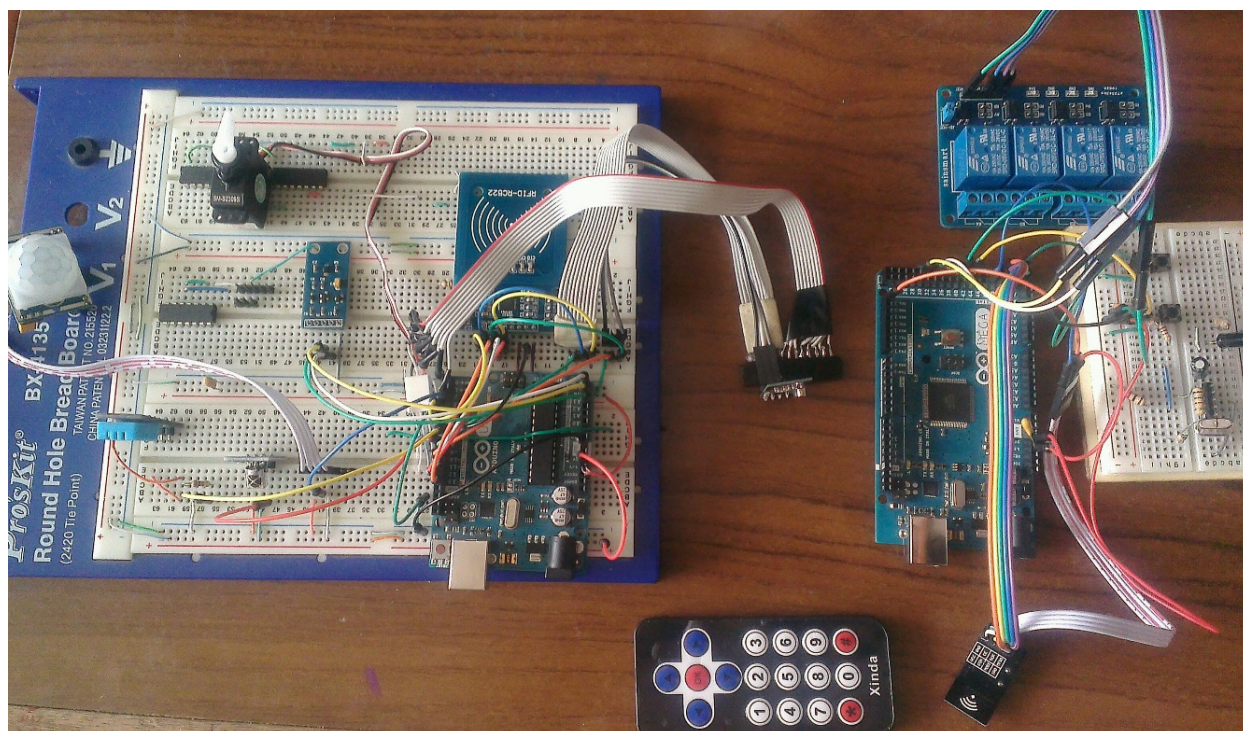


Figura 5.5. Implementación inicial del sistema domótico mediante Arduino

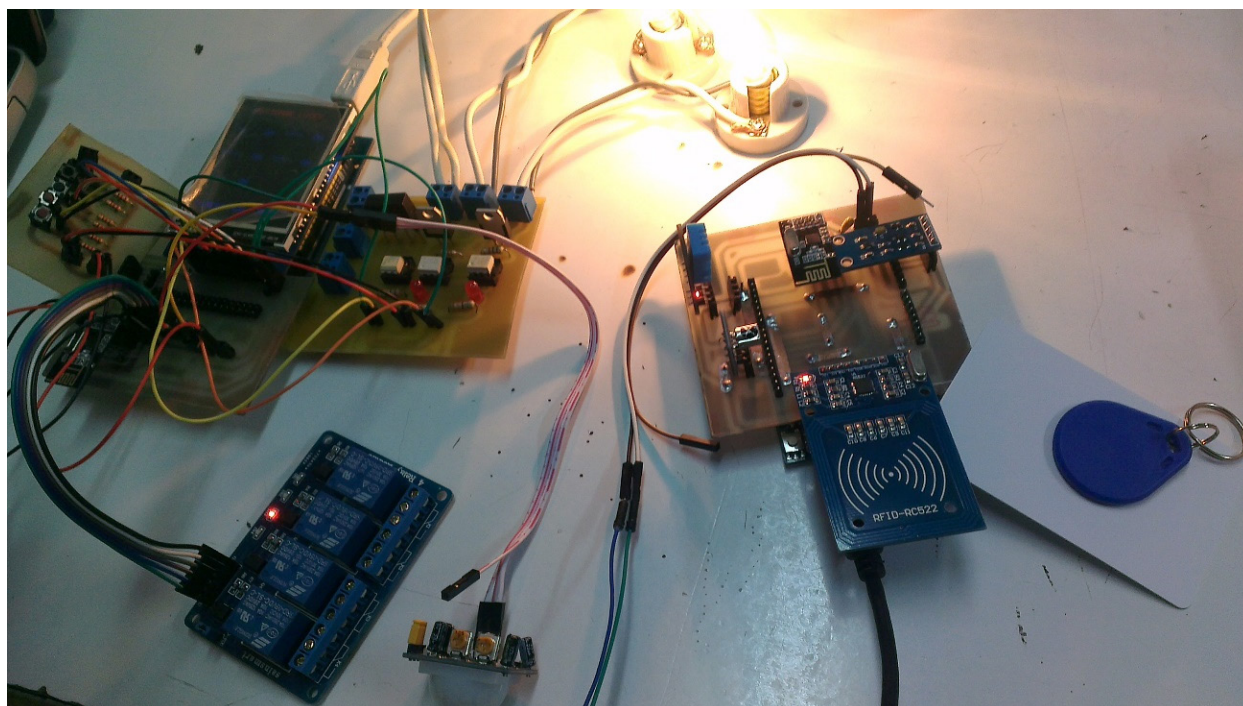


Figura 5.6. Pruebas y evaluación del sistema domótico con Arduino en PCB

Durante varias de las pruebas realizadas se ha modificado la programación en las placas Arduino, especialmente en la actualización de estado de los actuadores visualizados en la pantalla táctil.

Un inconveniente fue el fijar los valores máximos y mínimos de intensidad para la dimerización de las luces incandescentes. En algunos casos, existía alteración en el comportamiento del dimmer debido a los umbrales mal ajustados, como se muestra la Figura 5.7. Este inconveniente se solucionó, visualizando en un osciloscopio, el ángulo de disparo generado en el opto acoplador, y simultáneamente acondicionando el valor de umbrales máximo y mínimo.

La Figura 5.8 muestra la onda completa lograda en la carga, de la cual se registró el valor de la señal de máxima potencia de dimerización. De modo similar, a partir de un valor de voltaje cero se registró el valor de la mínima potencia de dimerización. El ajuste de valores permitió el eficiente comportamiento de dimerización, evitando intermitencias de encendido repentinos.

La Figura 5.9 muestra las pruebas de funcionamiento de la dimerización de cargas en el sistema, visualizadas a través de la pantalla táctil.

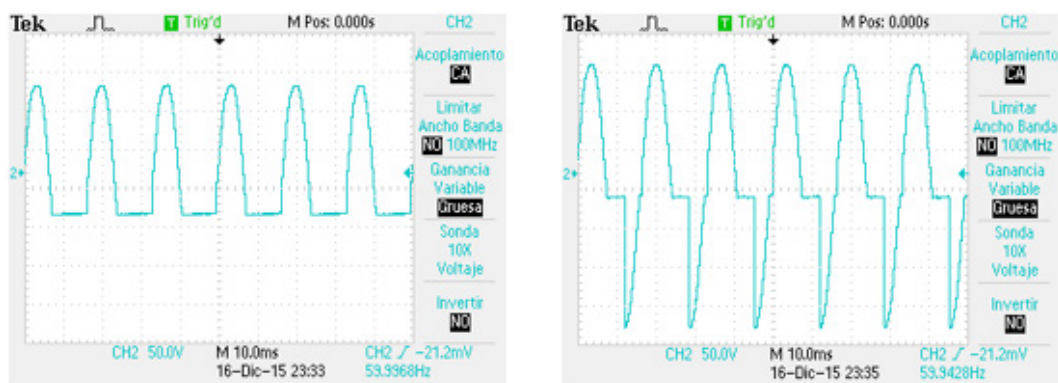


Figura 5.7. Desajuste de la onda en la carga

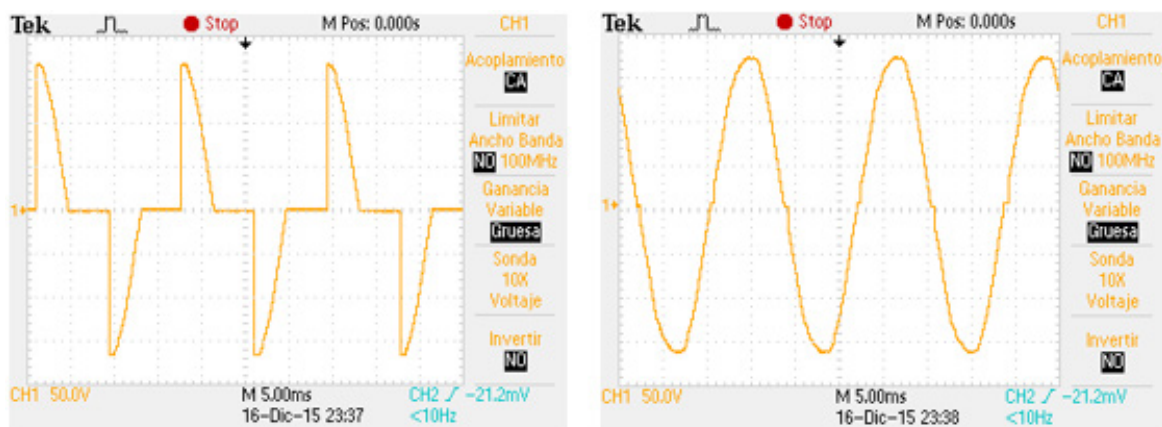


Figura 5.8. Corrección del ángulo de disparo

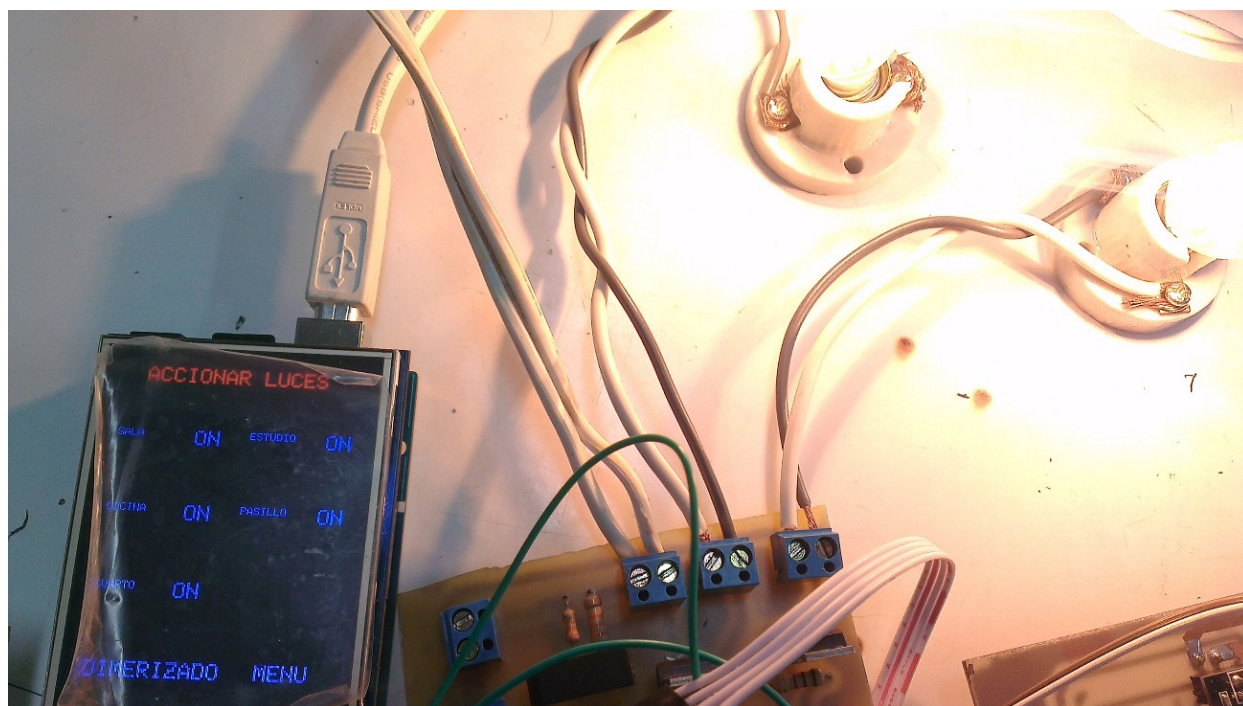


Figura 5.9. Pruebas del funcionamiento de dimerización de cargas

Finalmente, el prototipo del sistema domótico fue instalado en una maqueta. La Figura 5.10, muestra parte del proceso de conexión entre los módulos y elementos de control. La Figura 5.11 y Figura 5.12 muestran las conexiones culminadas y el sistema en funcionamiento, respectivamente.

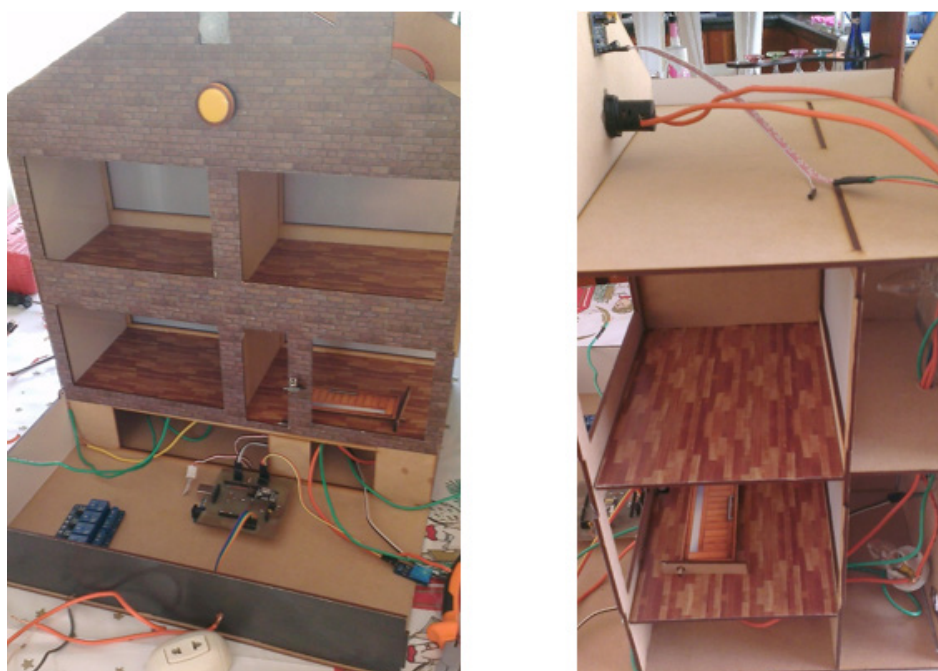


Figura 5.10. Conexión de módulos y demás elementos del sistema domótico

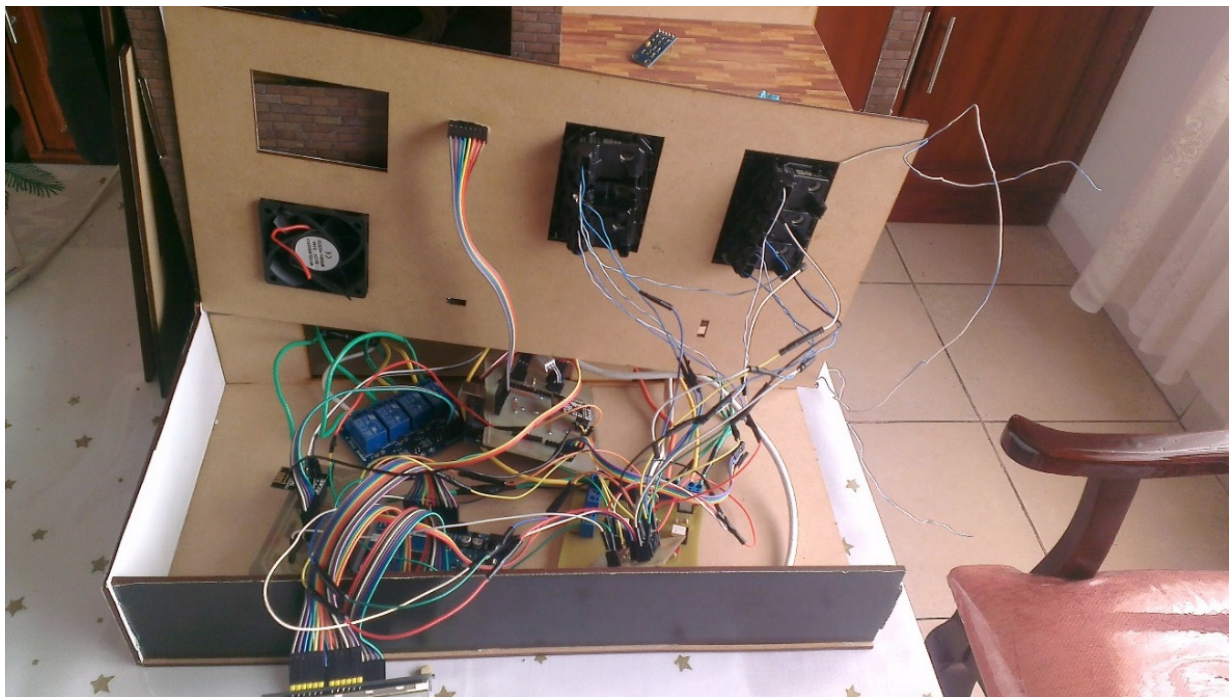


Figura 5.11. Conexión del prototipo terminado



Figura 5.12. Funcionamiento del sistema domótico

CAPITULO 6

ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA Y VENTAJAS EN LA
REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

6.1 Análisis de costos de equipamiento de una red domótica media

6.1.1 Análisis de costos del sistema usando la tecnología LCN

La valoración del costo del sistema domótico con la tecnología LCN ha sido determinada a partir del precio de cada uno de los componentes utilizados en el sistema, cuya información ha sido provista directamente por el fabricante.

Los costos expuestos están determinados específicamente para el prototipo del sistema, en caso de requerir implementar el sistema en una vivienda se debería considerar las necesidades particulares de cada usuario.

La Tabla 6.1 muestra el presupuesto del prototipo, que incluye costo de cableado de: la red del bus de comunicación, alimentación de sensores, actuadores e interfaces. Se excluye costo de mano de obra implementada, que dependerá de las dimensiones del sistema.

Sin embargo, los costos de licencias para los softwares de programación utilizados en el sistema (LCN-PRO, LCN-PCHK, LCN-GVS, LCN-GVSE), corresponden a gastos del proveedor y no del usuario final.

6.1.2 Análisis de costos del sistema usando la tecnología Arduino

La valoración del costo del sistema domótico con la tecnología de Arduino ha sido determinada a partir del precio comercial en el país de cada uno de los componentes utilizados. El costo de los módulos, luminarias, interfaces, actuadores, etc. se encuentra determinado específicamente para el prototipo del sistema implementado.

La Tabla 6.2 muestra el presupuesto del sistema; además del costo del cableado de la red, para el bus de comunicación y alimentación de sensores, actuadores e interfaces. El presupuesto no considera el costo de la licencia del software LabVIEW utilizado para el HMI.

Tabla 6.1. Presupuesto del sistema domótico usando la tecnología LCN

Serial	Descripción	PVP
LCN-BMI	Detector de movimiento para el I-Port	\$ 117,59
LCN-GT6W	Interface táctil de cristal blanco, 6 teclas, 6 LEDs, TS integr	\$ 279,26
LCN-GVS	PC- Sistema Global de visualización (inc. Licencia para 10 módulos)	\$ 1.017,56
LCN-GVSE	Paquete de licencias para GVS: 10 avisos	\$ 316,58
LCN-IV	Adaptador para extensión de la conexión I	\$ 21,48
LCN-LSH	Sensor de luz para carril DIN	\$ 293,96
LCN-NU16	Alimentador 16V, 50mA, caja empotrada	\$ 44,55
LCN-PCHK	Programa de acoplamiento para LCN-PRO/OW o PCK	\$ 449,99
LCN-PKU	Acoplador de bus a PC con conexión USB	\$ 330,14
LCN-PRO	PC-programa para configuración del Bus LCN	\$ 1.728,73
LCN-R8H	Módulo relé con 8 conmutadores 16A incl. Alimentación	\$ 342,58
LCN-RR	Receptor infrarrojo	\$ 46,36
LCN-RT16	Mando a distancia potente con 16 teclas	\$ 802,74
LCN-SH	Módulo conector y regulador para carril DIN	\$ 344,84
LCN-T8	Cable adaptador para 8 teclas convencionales, con sonido	\$ 30,53
LCN-TS	Sensor de temperatura (0,1°C) para todos los módulos del Bus	\$ 67,84
LCN-UPP	Módulo inteligente para caja empotrada	\$ 343,71
LCN-UPS	Módulo para caja empotrada (sin salidas)	\$ 214,82
LCN-UT	Transpondedor UP incl. antena (necesita 16-30V =/~)	\$ 336,93
LCN-ZTK	Transpondedor en formato tarjeta de crédito para LCN-UT	\$ 10,85
LCN-ZTS	Transpondedor como llavero para LCN-UT	\$ 11,19
---	Gastos varios	\$ 18,00
TOTAL		\$ 7.170,22

Tabla 6.2. Presupuesto del sistema domótico usando la tecnología Arduino

Componente	Descripción	C. Unidad	Cantidad	Costo Total
nRF24L01	Módulo inalámbrico RF (2.4GHz)	\$6,50	2,00	\$13,00
Sensor PIR	Sensor de movimiento	\$4,50	1,00	\$4,50
DHT11	Módulo de temperatura y humedad	\$6,00	1,00	\$6,00
BH1750	Módulo de luz (I2C)	\$8,00	1,00	\$8,00
RFID RC522	Módulo lector de tarjetas RFID (13.56MHz)	\$12,00	1,00	\$12,00
Arduino UNO R3	Placa electrónica con 18 pines digitales y 6 analógicos	\$34,00	1,00	\$34,00
Arduino Mega 2560	Placa electrónica con 54 pines digitales y 16 analógicos	\$63,00	1,00	\$63,00
Módulo relé	Módulo de cuatro salidas	\$14,00	1,00	\$14,00
Receptor y control IR	Módulo receptor y control infrarrojo	\$8,00	1,00	\$8,00
Cables de conexión	Conexiones para los módulos sensores, actuadores	\$0,10	70,00	\$7,00
Microfono	Entrada de voz en el computador	\$12,00	1,00	\$12,00
Envío de los módulos	Transporte de los módulos	\$4,00	2,00	\$8,00
Pantalla TFT LCD	Pantalla táctil TFT de 2.8" (240x320)	\$25,00	1,00	\$25,00
4N25	Opto acoplador	\$0,53	1,00	\$0,53
MOC3020	Opto acoplador	\$0,98	2,00	\$1,96
BTA10	TRIAC de 10A	\$1,33	2,00	\$2,66
RS207	Puente rectificador 2A	\$1,00	1,00	\$1,00
Cable flexible (metros)	Cable AWG 14	\$0,30	5,00	\$1,50
Placas de pulsantes	Placa Bticino de 3 pulsantes	\$11,33	2,00	\$22,66
Ventilador	Ventilador de 12V DC	\$3,50	1,00	\$3,50
Resistencias (2x33kΩ-2x1kΩ-2x220Ω-12kΩ)		\$0,03	7,00	\$0,21
Servomotor		\$16,00	1,00	\$16,00
Focos incandescentes		\$0,40	4,00	\$1,60
Foco piloto		\$3,00	1,00	\$3,00
Gastos varios	Cable extra, peinetas, placas, repuestos, etc.	\$50,00	1,00	\$50,00
Total				\$319,12

Analizando las tablas anteriores, se concluye que el costo de implementación del sistema domótico en nuestra ciudad será más accesible usando la tecnología de Arduino, la cual nos ha permitido emular completamente las funcionalidades de la tecnología LCN, reduciendo costos.

6.2 Análisis de consumo energético de una red domótica media

6.2.1 Obtención de datos

Para la obtención de la curva de consumo energético se utilizó el transductor de corriente AC TT 100-SD [34], el cual nos da valores de voltaje de acuerdo a la corriente que atraviesa por él. Este valor de voltaje debe acoplarse dentro de un rango de $\pm 5V$ para ser procesado en LabVIEW, por medio de una DAQ.

Las entradas analógicas de la DAQ utilizada soportan tensiones máximas $\pm 10V$, por lo que, de igual manera, el voltaje de la red eléctrica (aprox. 120AC) debe ser acoplado dentro de dicho rango.

Los valores de voltaje adquiridos del transductor, deben representarse en valores de corriente. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta la corriente total en el sistema en funcionamiento, medido con un amperímetro, y el máximo voltaje en el transductor. Posteriormente, se convierte el valor de voltaje adquirido al rango de 120AC y se obtiene la potencia consumida. La Figura 6.1 muestra el proceso de adquisición de datos para el cálculo de la potencia, descrito anteriormente.

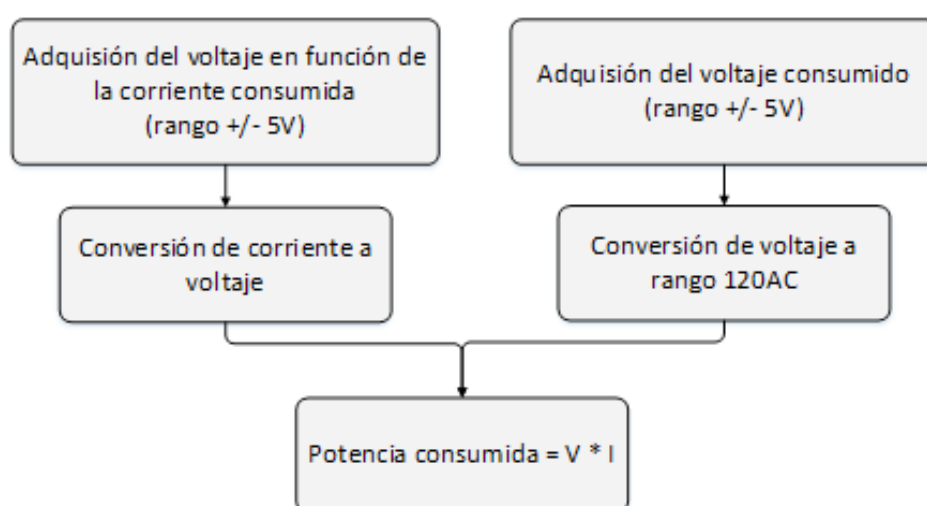


Figura 6.1. Diagrama de flujo utilizado para obtención de la potencia consumida

6.2.2 Modelo energético

Para la realización del modelo energético se tomó en cuenta el consumo estándar en una vivienda, durante los días laborables, y fin de semana. La Tabla 6.3 muestra el cronograma de encendido de cargas de lunes a viernes utilizando el sistema domótico. La Tabla 6.4 muestra el cronograma utilizado para el fin de semana.

Tabla 6.3. Cronograma de encendido de cargas utilizando domótica (lunes a viernes)

Hora		Cocina	Sala	Dormitorio
0:00	Nada			
1:00	Nada			
2:00	Nada			
3:00	Nada			
4:00	Nada			
5:00	Nada			
6:00		100%		75%
7:00		100%	25%	25%
8:00	Nada			
9:00	Nada			
10:00	Nada			
11:00	Nada			
12:00	Nada			
13:00	Nada			
14:00	Nada			
15:00	Nada			
16:00	Nada			
17:00	Nada		25% - 50%	25%
18:00		100%	100%	100%
19:00		100%	100%	100%
20:00			100% - 0%	100%
21:00				100%
22:00				100%
23:00				100% - 0%

Tabla 6.4. Cronograma de encendido de cargas utilizando domótica (fin de semana)

Hora		Cocina	Sala	Dormitorio
0:00	Nada		50%	50%
1:00	Nada		50%	25%
2:00	Nada			25%
3:00	Nada			
4:00	Nada			
5:00	Nada			
6:00	Nada			
7:00	Nada			
8:00	Nada			
9:00	Nada			
10:00	Nada			
11:00	Nada			
12:00	Nada			
13:00	Nada			
14:00	Nada			
15:00	Nada			
16:00	Nada			
17:00	Nada			
18:00	Nada			
19:00		100%	100%	75%
20:00		100%	100%	100%
21:00			75%	100%
22:00			50%	75%
23:00			50%	50%

El modelo energético sin sistema domótico sigue iguales cronogramas, mostrados en la Tabla 6.3 y Tabla 6.4, considerando que no será posible la dimerización de luces incandescentes, etc.

6.2.3 Consumo energético del sistema usando la tecnología LCN

De los modelos energéticos descritos anteriormente, se procede a la adquisición de curvas y su análisis. La Figura 6.2 compara los datos de potencia consumida en un día laboral usando la tecnología LCN y sin ella.

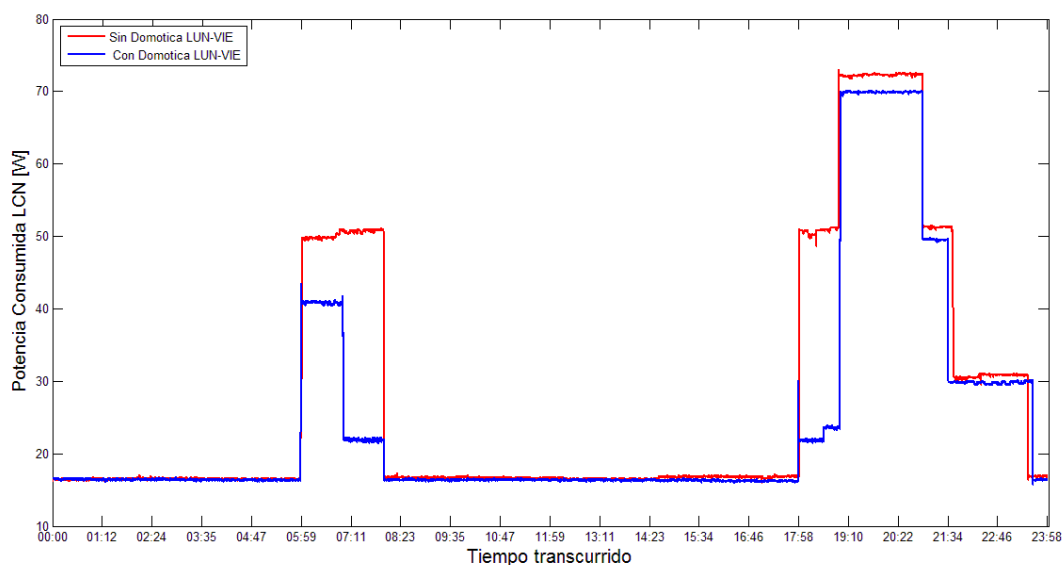


Figura 6.2. Comparación del consumo energético con tecnología LCN con y sin domótica en un día laboral

Se puede observar un evidente ahorro energético, pues el uso de domótica nos permite funciones de dimerización, temporización, etc. que ayudan en el ahorro. La Tabla 6.5 muestra los resultados que respalda el ahorro de energía eléctrica usando el sistema domótico.

Tabla 6.5. Comparación del consumo energético con la tecnología LCN (día laboral)

Consumo energético LCN (lunes-viernes)		
Con domótica	Sin domótica	Diferencia
24,284 Wh	27,582 Wh	3,297 Wh

La Figura 6.3 muestra una gráfica comparativa de la potencia consumida con domótica LCN respecto al consumo sin domótica, para un día del fin de semana. El ahorro de energía es evidente, y se respalda en los resultados mostrados en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6. Comparación del consumo energético con la tecnología LCN (fin de semana)

Consumo energético LCN (fin de semana)		
Con domótica	Sin domótica	Diferencia
22,688 Wh	29,404 Wh	6,715 Wh

Las gráficas comparativas y datos obtenidos del consumo energético, en ambos casos, demuestra que el uso de un sistema domótico nos ayuda en el ahorro energético.

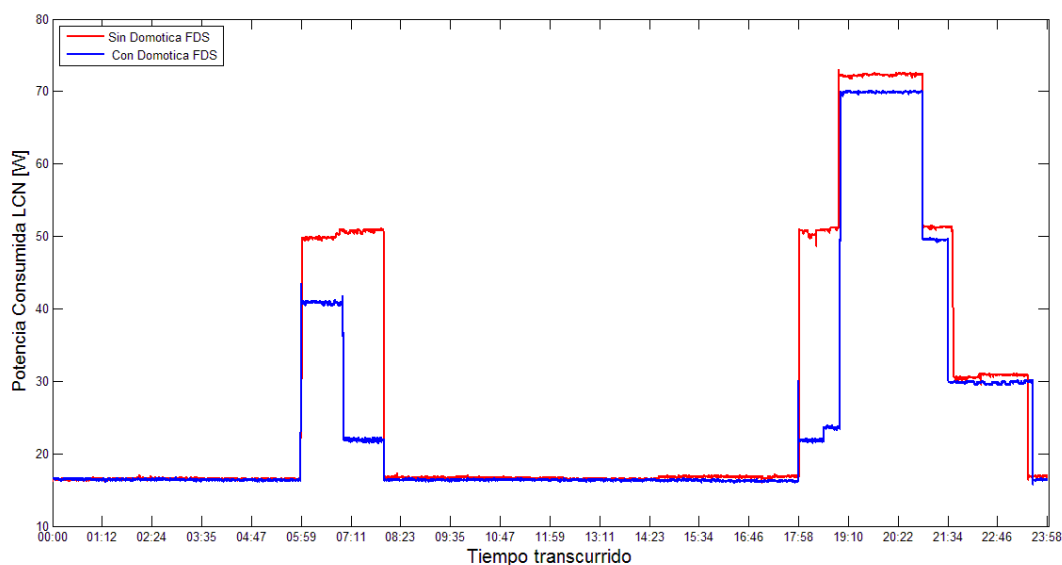


Figura 6.3. Comparación del consumo energético con tecnología LCN con domótica y sin domótica en un día del fin de semana

6.2.4 Comparación del consumo energético del sistema con la tecnología Arduino

La necesidad de brindar un sistema domótico de bajo costo, va ligado consigo, el brindar un sistema que ahorre energía. Para determinar el cumplimiento de este aspecto, se procede a la adquisición de curvas de consumo usando Arduino, y su respectivo análisis.

La Figura 6.4 presenta la comparación entre la potencia consumida en el prototipo usando el sistema domótico y la potencia consumida sin ella, para un día laboral. Se evidencia un notable ahorro energético al automatizar el prototipo.

La Tabla 6.7 muestra los valores promedio en los escenarios analizados, el cual ratifica la diferencia vista en la Figura 6.4, así como la conclusión obtenida.

Tabla 6.7. Comparación del consumo energético con la tecnología Arduino en un día laboral

Consumo energético Arduino (lunes-viernes)		
Con domótica	Sin domótica	Diferencia
30,099 Wh	34,702 Wh	4,602 Wh

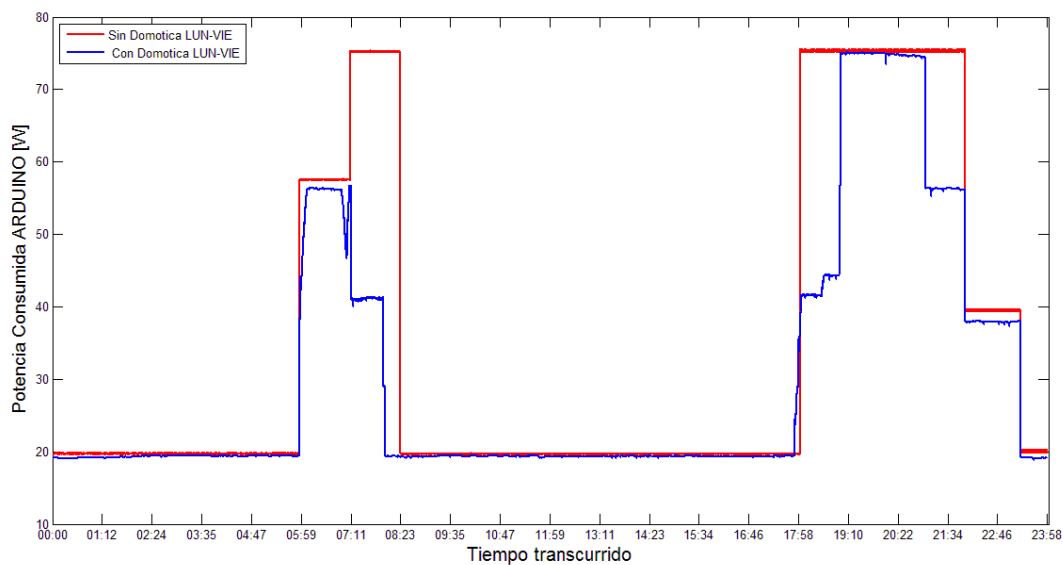


Figura 6.4. Comparación del consumo energético con tecnología Arduino con domótica y sin domótica en un día laboral

La Figura 6.5 muestra la comparación de la potencia consumida en el prototipo, usando el sistema domótico Arduino respecto al consumo sin él, un día del fin de semana. Además, la Tabla 6.8 muestra un promedio de consumo diario en ambos casos y se comparan dichos valores.

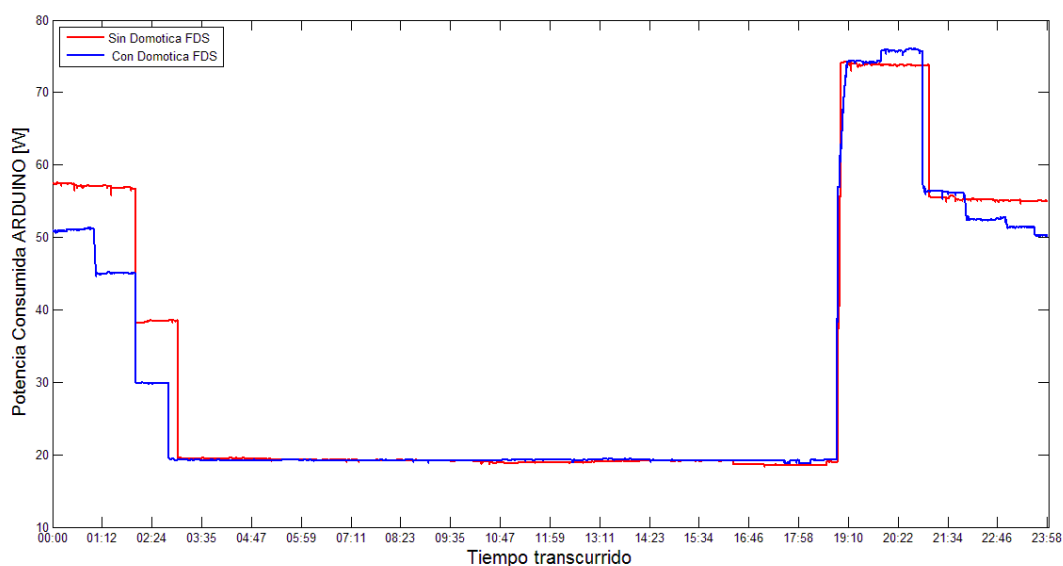


Figura 6.5. Comparación del consumo energético con tecnología Arduino con domótica y sin domótica en un día del fin de semana

Tabla 6.8. Comparación del consumo energético con la tecnología Arduino en un día del fin de semana

Consumo energético Arduino (fin de semana)		
Con domótica	Sin domótica	Diferencia
31,266 Wh	32,462 Wh	1,196 Wh

Observando las gráficas comparativas del consumo energético para la tecnología Arduino, en un día laboral y fin de semana, y sus respectivas tablas, se concluye que la implementación de un sistema domótico permite el ahorro en el consumo de energía.

La Tabla 6.9 muestra una comparación del consumo energético total de las tecnologías usadas en la implementación del sistema domótico, además de la comparación del uso de cada uno de ellos. Se debe aclarar, que el ahorro variará de acuerdo a las cargas utilizadas y los tiempos de uso.

Sin embargo, el ahorro tanto energético como económico que nos proporciona Arduino, lo convierte en una gran alternativa domótica para la sociedad actual.

Tabla 6.9. Comparación del consumo energético para las tecnologías LCN y Arduino con sistema domótico y sin sistema domótico

Tecnología	Consumo energético [Wh]					
	Lunes - viernes			Fin de semana		
	Con domótica	Sin domótica	Diferencia	Con domótica	Sin domótica	Diferencia
LCN	24,284 Wh	27,582 Wh	3,297 Wh	22,688 Wh	29,404 Wh	6,715 Wh
Arduino	30,099 Wh	34,702 Wh	4,602 Wh	31,266 Wh	32,462 Wh	1,196 Wh

Finalmente, el análisis de consumo excluye la potencia consumida por el computador, necesario en el caso de monitoreo del sistema, esta potencia es aproximadamente igual a 60 Wh.

6.3 Comparación funcional de los sistemas

La funcionalidad de los sistemas domóticos utilizados en el proyecto son satisfactorias, pues evidencian alta eficacia en varios aspectos como: respuesta de los actuadores, medición de datos en sensores, etc. La Tabla 6.10 presenta una comparativa de funcionalidad de los sistemas domóticos LCN y Arduino, basado en las métricas del sistema descritos en el Capítulo 3.

Tabla 6.10. Comparativa de funcionalidad de las tecnologías domóticas utilizadas

Métrica	Tecnología LCN	Tecnología ARDUINO
Gestionar cargas AC/DC	X	X
Interconexión entre módulos del hogar	X	X
Interconexión con sensores de diversas variables	X	X
Garantía de funcionamiento	X	X
Compatibilidad con otros sistemas de seguridad	X	X
Amigable y de fácil uso	X	X
Modular y sencillo de escalar a aplicaciones más grandes	X	M
Cumple con estándares y normas de calidad y seguridad	X	X
Tiempo de retorno de inversión	M	X
Tiempo de instalación	X	X
Debe caber en cajas de conexión	X	X

X=Cumple, M=Cumple bajo ciertas condiciones.

La Tabla 6.10 muestra que una gran similitud en el funcionamiento de las tecnologías de automatización utilizadas. Sin embargo, el escalamiento en la tecnología Arduino implica cambios en el código propuesto debido a disponibilidad de pines en sus tarjetas, redistribución de sensores y actuadores, etc. Aunque dicha diferencia puede verse compensado en el costo final, pues variará de forma mínima. Además, el alto costo de la tecnología LCN ocasionaría un período de tiempo superior en el retorno de inversión, a diferencia de Arduino que es de bajo costo y cumple con igual funcionalidad, garantía y eficiencia. En conclusión, ambos sistemas cumplen con los requerimientos del usuario y métricas propuestas para el desarrollo del proyecto.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

- Las personas discapacitadas requieren de apoyo y ayuda para realizar sus actividades diarias, con el avance de la tecnología es posible satisfacer estas necesidades al brindar un servicio de atención y prevención. La domótica ha sido creada para ofrecer la automatización de una vivienda además de una vida independiente para las personas mayores y personas con discapacidad.
- El presente proyecto ha logrado cumplir con los alcances propuestos en el inicio del mismo. Debido a las pruebas realizadas, ha sido posible comprobar y verificar el correcto funcionamiento del sistema domótico implementado en ambas plataformas.
- Tanto la tecnología LCN, como Arduino, permiten la implementación de un sistema domótico que brinde soluciones a los problemas de las personas discapacitadas, con el fin de mejorar su calidad de vida.
- Ambos sistemas domóticos implementados permiten un control y monitoreo del sistema de forma remota desde varios dispositivos dentro como fuera de la vivienda.
- Cada una de los prototipos de red implementado es independiente de las cargas colocadas en el presente proyecto, pues es posible controlar una variedad de dispositivos ON/OFF aparte de los utilizados.
- El módulo de control central, sensores y actuadores utilizados en el sistema domótico de la tecnología Arduino permite ajustarse a las exigencias y comodidad del usuario, debido a que su comunicación es inalámbrica.
- La tecnología LCN al ser una marca establecida mundialmente, aunque poco conocida en nuestro entorno, ha desarrollado un sistema eficiente en su funcionamiento y de fácil programación.
- La alta funcionalidad de los dispositivos de la tecnología Arduino nos ha permitido emular el sistema domótico LCN de forma completa y satisfactoria.
- Las diferentes interfaces de control y monitoreo implementadas cubren las exigencias del usuario brindando seguridad y confort.
- El prototipo del sistema domótico implementado tanto con la tecnología LCN como con la tecnología Arduino posibilita la autonomía de la persona con discapacidad, ofreciendo confort, accesibilidad, movilidad, seguridad y comunicación con el sistema. Estos

sistemas domóticos permiten controlar una vivienda a través de diferentes interfaces de control como: un control IR, un panel táctil, además de poseer un HMI en un computador y a través de éste brindar un control y monitoreo remoto.

- La tecnología alemana LCN implementada en el primer prototipo es un sistema con una funcionalidad de alto nivel, y su configuración se realiza a través del software de programación propietario LCN-PRO. En cambio, la tecnología Arduino implementada en el segundo prototipo es un sistema de código abierto y programable por medio del software de Arduino (IDE).
- Ambas tecnologías implementadas son escalables, aunque LCN posee ventaja, por el hecho de que su bus de comunicación es físico y permite añadir más módulos a la red y a su vez sensores o actuadores necesarios sin afectar a la configuración final del sistema. Mientras en Arduino se puede ver un limitante en la cantidad de pines que posee las placas controladoras, lo que implicaría añadir placas, modificar variables y una mínima reconfiguración de las mismas.
- La implementación de los comandos de voz ha sido uno de los puntos más altos del proyecto, pues nos ha permitido adentrarnos a nuevos campos de la programación.
- Las interfaces remotas y reconocimiento de voz requieren que el computador central mantenga una conexión a internet constante.
- El control del sistema domótico a través de comandos de voz permite beneficiar a las personas no videntes, también con el uso de este campo tecnológico.
- El uso del reconocimiento de voz de Google Chrome resultó ser útil, pues se evitó implementar códigos en otro software, que, aunque rindan de igual forma, pueden sobrecargar el procesamiento del computador, y por ende del sistema.
- El uso de domótica sin duda reduce los costos de planillas de luz, pues es posible temporizar el funcionamiento de cargas, y en el caso de luminarias regularlas.
- Las cargas lumínicas de tipo incandescente utilizadas en el proyecto no son un limitante para la implementación de dimerización, pues hoy en día con el auge de luces led en éstos también sería posible.
- La realización de esta tesis nos ha abierto una visión a futuro sobre su implementación

a corto plazo del sistema, pues su funcionalidad, eficiencia, rendimiento y ahorro energético son muy significativos.

- La tecnología Arduino nos ha brindado la posibilidad de implementar un sistema domótico de bajo costo, pero al mismo nivel que cualquier marca mundial.
- La tecnología Arduino aventaja a la tecnología LCN en costo de inversión, lo que hace que la potencial automatización de la vivienda esté al alcance de un ciudadano de clase media, que corresponde al mayor porcentaje en la ciudad de Cuenca.
- El sistema domótico no se encuentra restringido al uso de personas discapacitadas, sino que está abierto a la sociedad en general, pues como se ha visto, su implementación es muy útil pues facilita la interacción diaria y la calidad de vida de cualquier persona.
- La implementación de un sistema domótico usando la tecnología Arduino, es muy accesible para una persona de estatus media, mayormente radicados en la ciudad de Cuenca.

ANEXOS



ANEXO A: Encuesta realizada para el diseño del producto

Necesidades emergentes en el hogar

1. La vivienda en que usted vive es:

- Propia
- Rentada
- Arrendada
- Planea adquirir una casa

2. ¿Cuál considera usted que son los problemas más serios que se tiene en el hogar? (Asigne un número del 1 al 5, siendo 5 lo más alto y 1 lo más bajo). (Mínimo 5 respuestas)

- Robo
- Costos de Luz
- Peligros generados por artefactos
- Costos del gas
- Costos del agua
- Emergencias médicas
- Jardinería
- Mantenimiento
- Otro (especifique)

3. ¿Qué le gustaría mejorar en su vivienda para reducir los problemas de la pregunta anterior?

- Seguridad
- Ahorro energético
- Integridad personal
- Mantenimiento Preventivo
- Alerta para descuidos

4. ¿Considera que los descuidos en el hogar generan incrementos en el costo de las facturas de consumo de servicios?

- Sí
- No

5. En caso de que usted en P4 respondió SI: ¿Cuál es el descuido? En caso que usted respondió NO: ¿Por qué?

6. Además de los servicios básicos (agua, luz, gas) ¿Qué considera usted importante tener en su vivienda?

- Servicio de internet
- Servicio telefónico
- Sistema de cable
- Seguridad

7. ¿Qué considera usted que incrementa el consumo de los servicios en el hogar? (Asigne un número del 1 al 5, siendo 5 lo más alto y 1 lo más bajo). (Todas deben ser respondidas)

- Descuidos
- Fugas
- Ineficiencia en el empleo de los recursos
- Inconsistencia en el uso de los servicios
- Otro (especifique)

8. ¿Qué aspectos tecnológicos considera usted deben solventarse para mejorar la calidad de vida de las personas discapacitadas dentro del hogar?

- Control de dispositivos y equipos eléctricos
- Control de iluminación
- Seguridad y Confort
- Movilidad
- Acceso
- Fácil comunicación en emergencias
- Otro (especifique)

ANEXO B: Tabla de Función de Calidad

				<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>									
--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ANEXO C: Manual de configuración y programación del sistema domótico LCN

C.1 Configuración inicial de los módulos

Una vez conectado el módulo con la PC, inicializamos la conexión del bus LCN a través del puerto serial (COM) asignado. El software deberá reconocer e identificar los módulos centrales del sistema (LCN-UPP, LCN-UPS, LCN-SH). A los módulos se les asigna una dirección y nombre de identificación, e.g. el módulo LCN-UPS llevará la dirección 6, etc.

La Tabla C.1 indica la configuración que debe realizarse en cada uno de los principales módulos del sistema, en base al esquema de conexiones mostrado en la Figura 3.14.

Tabla C.1. Configuración de puertos y salidas de los módulos LCN

Módulo	Salidas	Puertos		Variables	Umbrales	
LCN-UPS	Salidas de puertos DES-HABILITADO	Puerto T	Sensor de Luz	TVar	Histéresis	10lx
		Puerto I	Transponder		Umbral 1	67lx
		Puerto P	-----		Umbral 2	67lx
LCN-UPP	Por defecto (dimerización, conmutación)	Puerto T	GT6 (before 2012)	R1Var	Valor configurado	26°
		Puerto I	-----		Rango proporcional	1°
		Puerto P	-----		Modo	Cooling
LCN-SH	Por defecto (dimerización, conmutación)	Puerto T	T8/TU4X standard keyboard	Por defecto	-----	
		Puerto I	IR Remote Control			
		Puerto P	Relays			

*Nota: Los ítems restantes de configuración no se modifican, es decir, se mantienen sus valores por defecto.

La segunda columna de la Tabla C.1, contiene la descripción de las propiedades de las salidas de cada uno de los módulos. La tercera columna corresponde a la configuración de los puertos, la cual depende de los dispositivos que se encuentren conectados a los mismos. La cuarta columna configura el tipo de variables a recibir. Mientras la última columna corresponde a los valores de umbrales definidos, según lo descrito en el capítulo de pruebas.

C.2 Configuración y programación del sensor de luz (LCN-LSH).

La programación de las acciones del sensor de luz depende de los umbrales deter-

minados. A cada umbral le corresponde una dirección de programación del evento, e.g. un primer evento será configurado en la dirección B1 (tabla B, llave 1), y así sucesivamente. Para los alcances del proyecto se definen dos umbrales, como lo menciona la sección 5.1.3.1.

La Figura C.1 muestra la programación del sensor de luz realizada para el sistema domótico. Cada vez que se accione el sensor en ausencia de luz, se ejecutará la función “make”, que encenderán las luces de la sala (salida 1 del módulo LCN-UPP) con una rampa de 5 segundos (B1), además de accionar el relé 3 del módulo LCN-R8H para que se “cierren las persianas” (B2). Mientras que, en presencia de luz, la función “break” apagará las luces de la sala (salida 1 del módulo LCN-UPP) con una rampa de 5 segundos (B1), y accionará el relé 5 del módulo LCN-R8H para que se “abran las persianas” (B2).

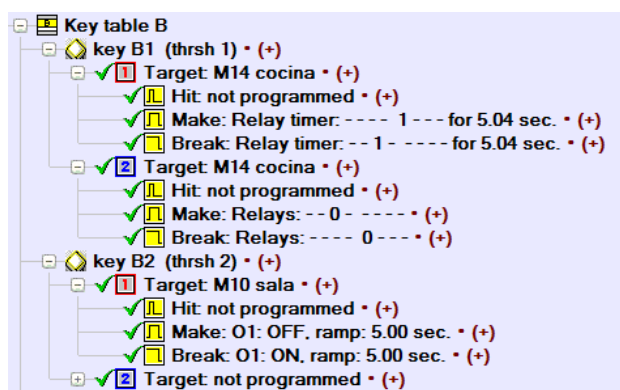


Figura C.1. Programación de eventos para el sensor de luz LCN-LSH (M6 luces)

C.3 Programación del sensor de movimiento (LCN-BMI)

Según la información del fabricante [35], se conoce que las respuestas del sensor de movimiento se dan en las direcciones B4/B5/B6/B7. La programación realizada activa o desactiva el relé 7 del módulo LCN-R8H, según el evento que el sensor detecte (“make” o “break”). La Figura C.2 muestra la programación mencionada para el módulo LCN-BMI.

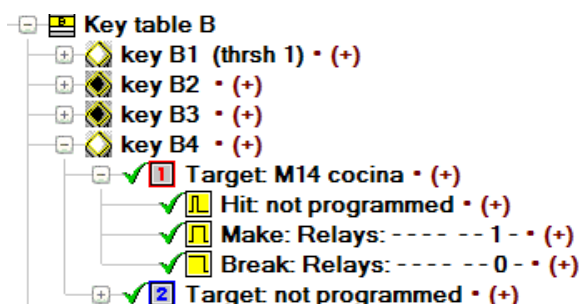


Figura C.2. Programación de eventos para el sensor LCN-BMI (M10 sala)

C.4 Programación sensor de temperatura (LCN-TS)

La programación del evento se realiza en la opción Regulador. El evento programado controlará un relé del módulo LCN-SH conectado a un ventilador.

C.5 Programación del control de acceso RFID (LCN-UT)

Para la programación de control de acceso RFID, es necesario conocer el código de cada una de las tarjetas a usarse. El proyecto dispone de tres tarjetas con los siguientes códigos: 013372ce, 0028f65 y 01141ab2.

De cada código obtenido se toman sus últimos 6 dígitos y con ellos procedemos a programar eventos, como se indica en la Figura C.3.

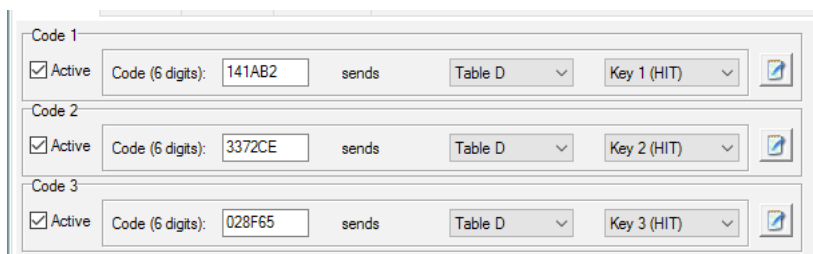


Figura C.3. Ventana de configuración del código de tarjetas para LCN-UT

La Figura C.4 muestra las escenas de luz programadas para cada tarjeta de acceso.

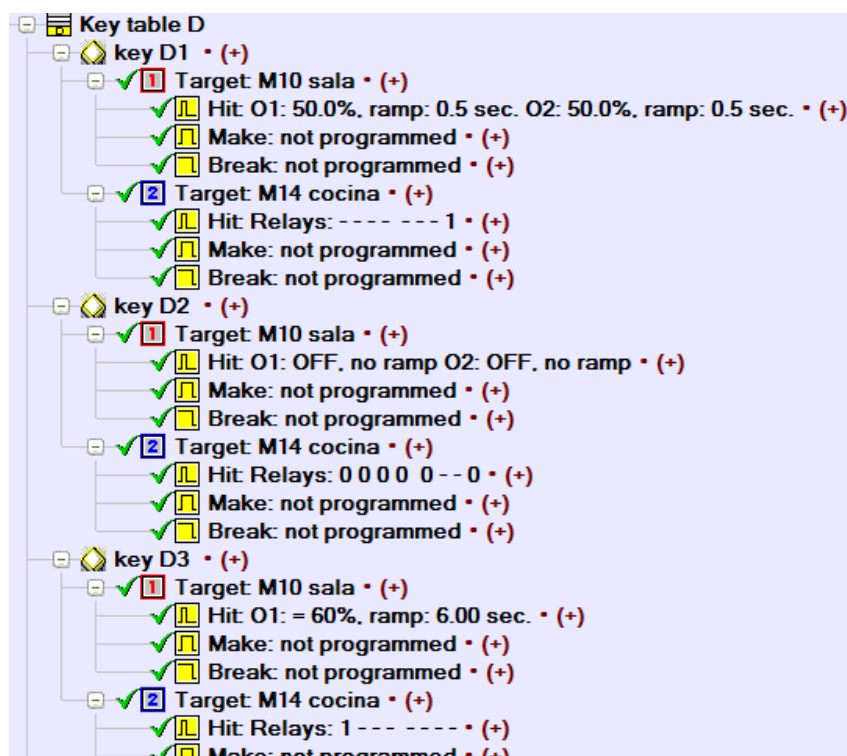


Figura C.4. Programación de eventos para transponder de acceso RFID

La Tabla C.2 resume la configuración realizada para cada tarjeta, mismas que corresponden a diferentes escenas de iluminación.

Tabla C.2. Escenas de iluminación para las tarjetas de acceso RFID

Tarjeta	Escena	Descripción
01141ab2 (D1)	1	- Enciende la salida 1 y 2 del módulo LCN-UPP (sala-dormitorio) con una rampa de 0.5 segundos hasta una intensidad del 50%. - Activa el relé 8 del módulo LCN-R8H que corresponde a los tomacorrientes de la vivienda.
00028f65 (D3)	2	- Enciende la salida 1 del módulo LCN-UPP (sala) con una rampa de 6 segundos hasta una intensidad de brillo del 60%. - Activa el relé 1 del módulo LCN-R8H que corresponde a la iluminación de la cocina.
013372ce (D2)	3	- Apaga las salidas 1 y 2, además de desactivar los relés, a excepción del relé 7 que corresponde al sensor de movimiento, y el 8 de los tomacorrientes.

C.6 Programación del control de acceso remoto IR

- Receptor de mando a distancia IR (LCN-RR)

De [35] se obtiene las tablas A/B o a las tablas B/C como las direcciones asignadas para control IR. En nuestro caso, escogeremos las tablas B/C con el fin de evitar cruces en la programación con otros módulos.

- Transmisor de mando a distancia IR y control de acceso (LCN-RT)

El transmisor se compone de cuatro teclas, cada una corresponde a una dirección, específica con sus funciones de “hit”, “make” y “break”. Además, cada tecla posee 4 niveles de acción, brindando al usuario 16 teclas de mando con tres funciones cada una.

Para acceder a un nivel distinto del nivel 1, se requiere de una combinación de teclas, descritas en la Tabla C.3. Por ejemplo, las teclas • + o accede a las direcciones desde la 1 a la 4 de la tabla secundaria, en este caso, la tabla C (nivel 3), y así, según corresponda.

La función principal, por defecto, corresponde a las direcciones del nivel 1. Por lo que, si cambiamos de nivel, transcurrido un tiempo definido por el fabricante, el transmisor regresará por sí solo a su nivel por defecto.

Tabla C.3. Combinación de teclas, niveles y direcciones del módulo LCN-RT

Teclas LCN-RT		
Nivel 1	↓	B1 (tabla B, llave 1)
	↑	B2
	o	B3
	•	B4
Combinación • + ↑		
Nivel 2	↓	B5
	↑	B6
	o	B7
	•	B8
Combinación • + o		
Nivel 3	↓	C1
	↑	C2
	o	C3
	•	C4
Combinación o + ↓		
Nivel 3	↓	C5
	↑	C6
	o	C7
	•	C8

La Figura C.5 muestra los eventos programados en la dirección B3 (tecla o, nivel 1), en sus funciones “hit”, “make” y “break”.


Figura C.5. Programación de eventos para la dirección B3 del transmisor IR, módulo LCN-RT (M14 cocina)

C.7 Programación de pulsantes convencionales (LCN-T8)

Para el uso de pulsantes convencionales dentro del sistema deben conectarse al sistema a través del módulo LCN-T8. La combinación de sus cables habilita diferentes direcciones, en nuestro caso usaremos las direcciones A3, A5 y A8.

La dirección A3 (tabla A, llave 3) correspondiente al primer pulsante, la función “hit” activará la salida 2 del módulo LCN-UPP encendiendo un 25% de intensidad de brillo en cada pulso. La función “make” creará una rampa de 5 segundos para el encendido/apagado de la salida 2, mientras que la función “break” detendrá la rampa accionada en la función “make”. La Figura C.6 muestra las demás configuraciones para los pulsantes restantes.



Figura C.6. Programación de evento para los pulsantes convencionales LCN-T8 (M14 cocina)

C.8 Programación de teclado (LCN-GT6W)

Según la referencia [29] la dirección de las teclas del módulo LCN-GT6W corresponde a la tabla A, desde la llave 1 hasta la 6.

La Figura C.7 muestra la parte de programación del módulo LCN-GT6W. Además, en este caso se hace uso de la doble programación sobre las teclas 5 y 6 mediante el uso de los targets disponibles.

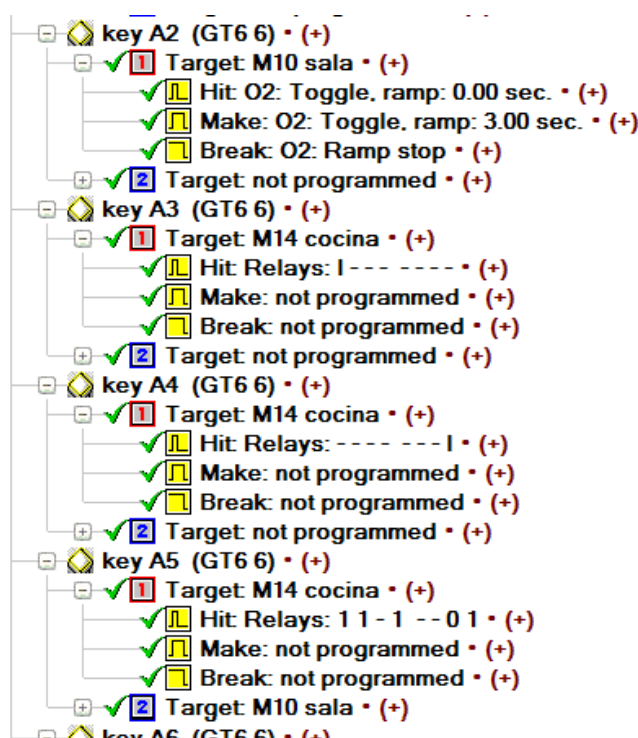


Figura C.7. Programación de eventos para el teclado LCN-GT6W (M10 sala)

C.9 Programación de la interfaz web LCN-GVS

Los softwares LCN que permite crear la interfaz y configurar el enlace son: LCN-PCHK y LCN-GVS, los cuales se describen a continuación.

- LCN-PCHK

La referencia [36] describe a LCN-PCHK como un programa que permite la comunicación entre el acoplador de PC en el sistema (LCN-PKU) y el software de usuario (LCN-PRO/GVS). Este software permite 2 protocolos de comunicación:

- RS232
- TCP/IP

LCN-PCHK permite realizar un acoplamiento host a través del puerto RS232 (COM). Al mismo tiempo, por medio del protocolo TCP/IP (Ethernet), las aplicaciones LCN-PRO, LCN-GVS y otros proveedores podrán acceder simultáneamente al bus LCN.

Configuración

la Figura C.8 muestra el esquema de conexión para el funcionamiento del software,

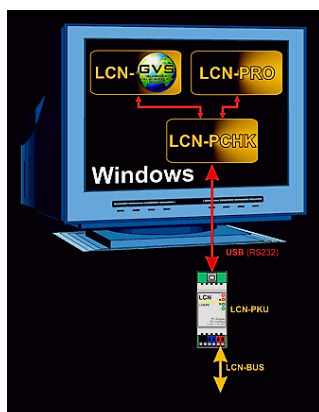


Figura C.8. Esquema de conexión host y acoplador para la configuración de LCN-PCHK y LCN-GVS. Tomada de [37].

Para la configuración del software LCN-PCHK se debe conocer las interfaces a acoplar. Por lo tanto, se selecciona las interfaces a acoplar, que serán: para la interfaz LCN el puerto serial (COM) y para la interfaz host: mediante el protocolo *TCP/IP* a través del puerto 4114, como se observa en la Figura C.9.

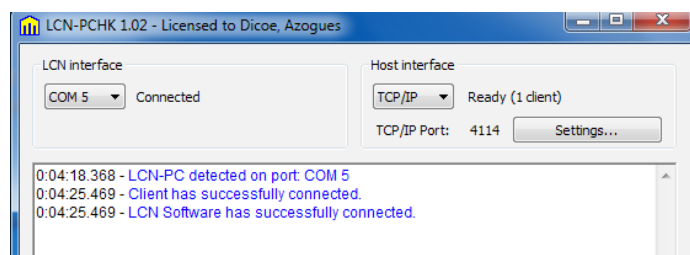


Figura C.9. Configuración y monitoreo desde LCN-PCHK

Ejecutado el software LCN-PCHK se podrá acceder simultáneamente al control del sistema desde LCN-PRO y LCN-GVS.

- LCN-GVS

Según la referencia [38] LCN-GVS (Sistema de Visualización Global), permite al usuario control y configuración del sistema por medio del navegador web. Este sistema dispone de funciones para acciones de visualización, control de acceso, temporización y gestión de avisos.

El sistema también privacidad en la administración, pues, solamente personas autorizadas puedan iniciar sesión en LCN-GVS, el cual, funciona en cualquier computador, sin que sea necesario instalar un software adicional.

Configuración

Para la configuración de LCN-GVS accedemos a través del navegador web, en la siguiente dirección si se accede desde el mismo host conectado a LCN-PKU:

<http://localhost/LCNGVS/>

Si se accede desde otro ordenador, se reemplazará **localhost** por la **dirección ip** del host al que se encuentre conectado el acoplador.

La dirección nos dirigirá hacia la página de inicio de sesión de GVS, como se muestra en la Figura C.10. Para el primer ingreso, se utilizará el **usuario: lcn** y **contraseña: test123**, que son valores por defecto proporcionados por el fabricante.

Una vez ingresado al sistema, configuramos la comunicación, creamos nuestro nuevo usuario-administrador y reiniciamos el inicio de sesión.

Para configurar la comunicación de la interfaz GVS, utilizamos el archivo del LCN-PRO que contiene la programación del sistema. Posteriormente, en la ventana *Configuración del sistema>>Configuración*, se selecciona el bus LCN correspondiente, la conexión host y el puerto TCP/IP a través del *puerto 4114*. Las configuraciones deberán ser iguales a las cargadas en LCN-PCHK.

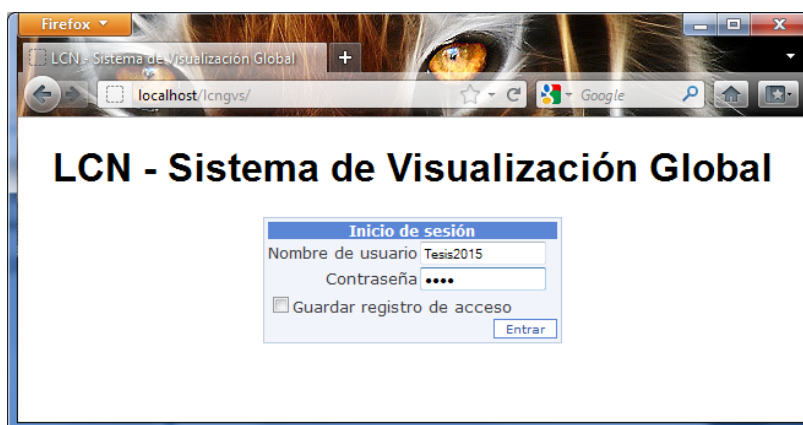


Figura C.10. Ventana de inicio de sesión de LCN-GVS

Creación de tableros

Terminada la configuración de conexión y cuentas de usuario. Creamos los diferentes tableros de control que dispondrá la interfaz de la cuenta. La Figura C.11 muestra las ventanas de creación de los tableros.

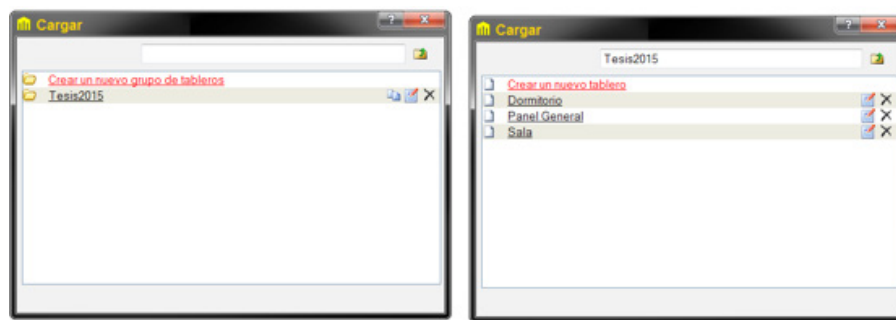


Figura C.11. Creación de tableros de control

La Figura C.12 muestra la ventana subsiguiente a la creación de tableros, en la cual se agregan los controles necesarios para la interfaz de usuario. Los elementos de control que pueden ser agregar son varios, siendo aplicados hacia relés, luminarias dimerizables, sensores, temporizadores, etc. La Figura C.12 también muestra los elementos de control agregados a nuestro tablero.

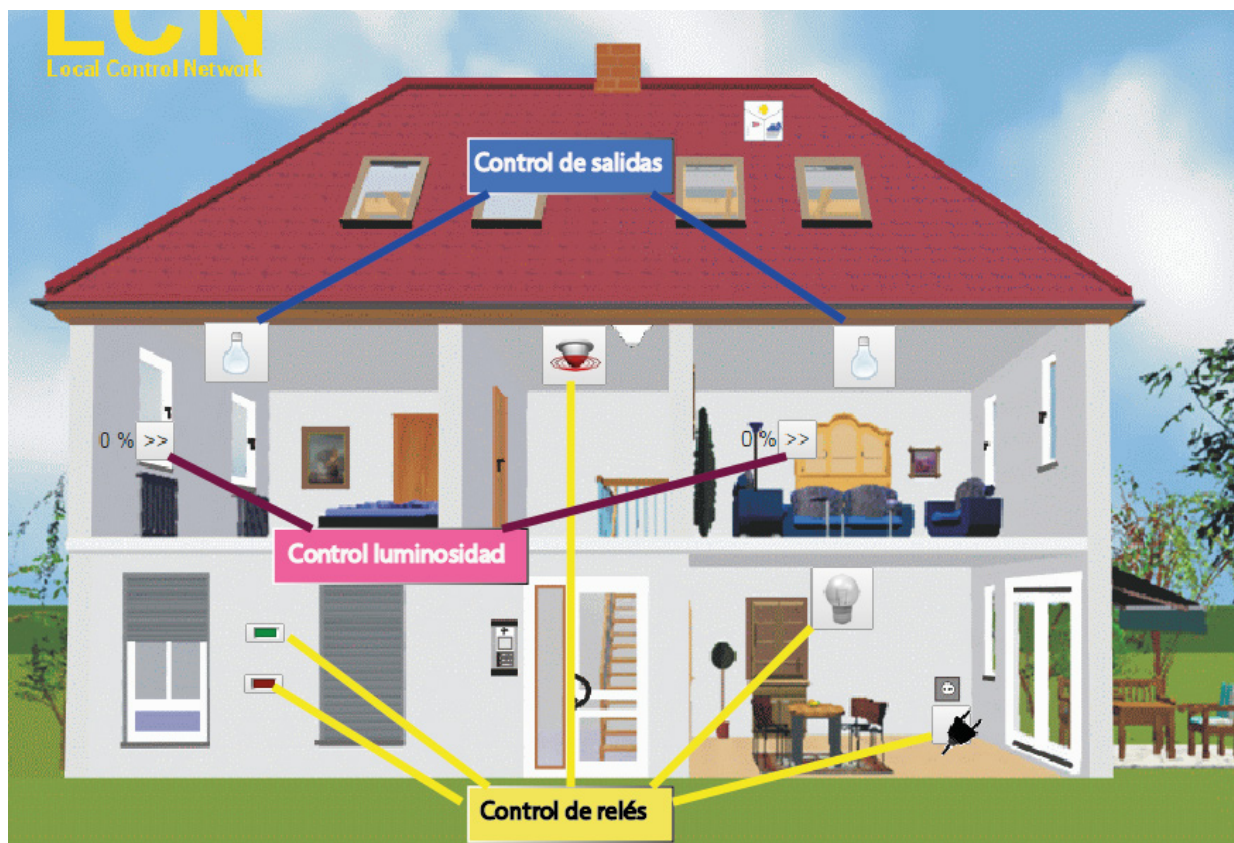


Figura C.12. Tablero general agregado elementos de control

Para agregar control sobre un relé del sistema, se siguen los siguientes pasos:

1. Se selecciona el elemento de control Relé
2. Se asigna el modulo en el que se encuentra el relé a controlar
3. Se selecciona el tipo de control que se desea
4. Se selecciona el número del relé
5. Se selecciona una imagen para el elemento, en caso que se encuentre Activo
6. Se selecciona una imagen para el elemento, en caso que se encuentre
7. Desactivo

Idéntico proceso se siguen para añadir los demás elementos, e.g. control de luminosidad sobre una salida dimerizable, control sobre una salida del sistema (en caso, de no requerir dimerización en la salida), etc.

El panel de adición de elementos de control además permite programar temporizadores para diferentes dispositivos del sistema. Sin embargo, antes de agregar dicho control es necesario programar los eventos en una ventana diferente. La Figura C.13 muestra la ventana de configuración de eventos temporizados.

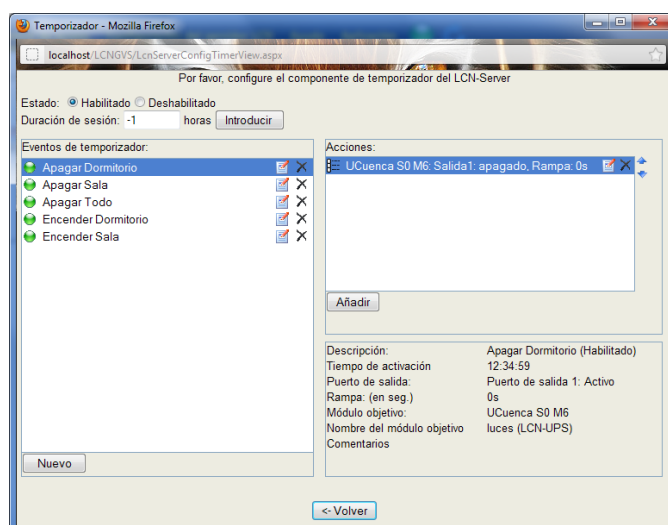


Figura C.13. Ventana de configuración del temporizador

La Figura C.14 muestra la interfaz final, la cual podrá ser accedida desde cualquier navegador web.

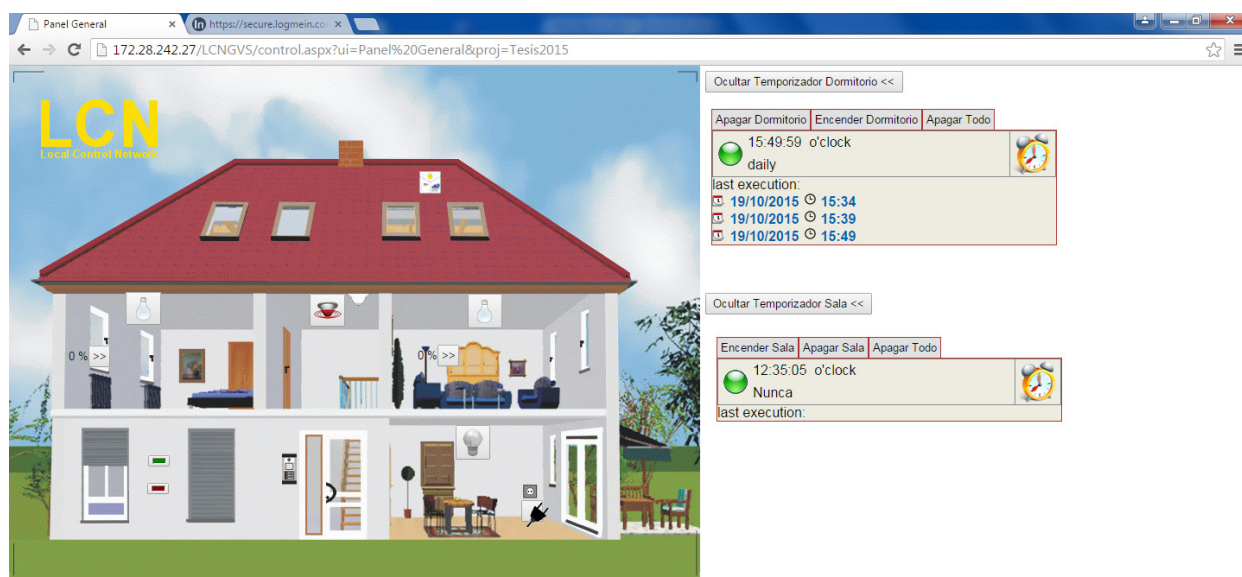


Figura C.14. Interfaz LCN-GVS final

Finalmente, en caso de que se encuentre ejecutando LCN-GVS y se requiera modificar los eventos del sistema domótico implementado desde LCN-PRO, éste deberá conectarse con iguales configuraciones realizadas para LCN-PCHK como se muestra en la Figura C.15.

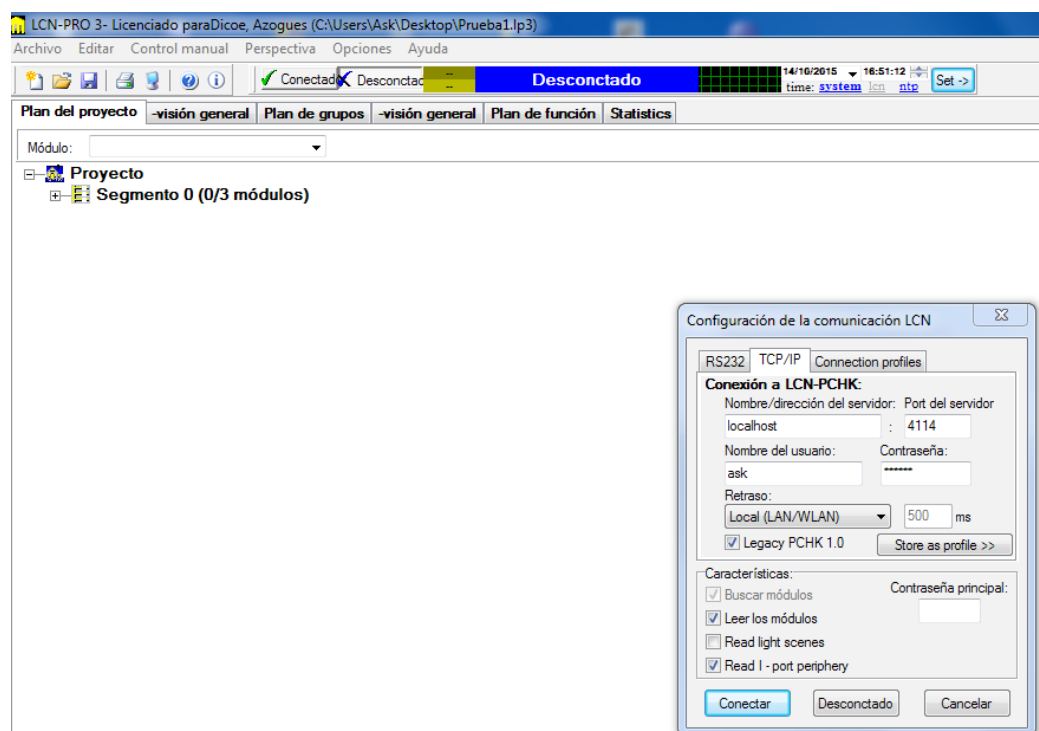


Figura C.15. Comunicación de LCN-PRO a través del protocolo TCP/IP

ANEXO D: Manual de configuración y programación del sistema domótico con Arduino

La mayor parte de los módulos sensores y actuadores del sistema domótico acoplados al Arduino necesitan de librerías que permiten y facilitan su control, éstas se deben situar en el directorio de librerías de la carpeta de instalación de Arduino. Para usar una determinada librería, al inicio del código de programación del sketch se incluye la siguiente línea: `#include <NombreDeLibreria.h>`

A continuación, se detalla la configuración y programación de los módulos utilizados para la implementación del sistema.

D.1 Configuración inicial de las placas Arduino

En la implementación del sistema se plantea utilizar las placas de Arduino Uno y Arduino Mega 2560. La programación de estos módulos se realiza a través del software de código abierto de Arduino (IDE), el mismo que puede ser descargado desde su página oficial [24].

Se debe instalar el driver ubicado dentro de la carpeta drivers de Arduino, posteriormente es posible programar en el sketch. Para grabar en la tarjeta se debe seleccionar la tarjeta y el puerto serial correcto, en el menú de herramientas, como se muestra en la Figura D.1.

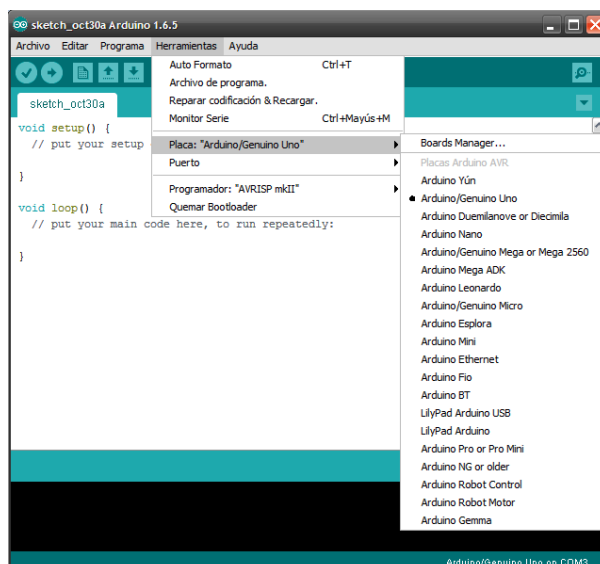


Figura D.1. Selección de la tarjeta Arduino y puerto serial

D.2 Configuración y programación del sensor de temperatura y humedad DHT11

La Figura D.2 muestra el sensor DHT11 que incluye un medidor de humedad de tipo

resistivo y un termistor para la medición de temperatura NTC (coeficiente negativo de temperatura) [39].



Figura D.2. Sensor de temperatura y humedad DHT11

El DHT11 tiene tres líneas: GND, VCC y una sola línea de datos digitales. La fuente de alimentación es de 3-5.5V DC. Un formato de datos de un solo bus se utiliza para la comunicación y sincronización entre el microcontrolador y sensor DHT11.

La Tabla D.1 muestra la conexión entre los pines del sensor DHT11 y la placa Arduino.

Tabla D.1. Conexión de los pines del sensor DHT11

Pin DHT11	Arduino Uno
GND	GND
VCC	3.3V
DATA	7 (cualquier pin digital)

- Programación del sensor DHT11

En el sketch del Arduino IDE primeramente se incluye la librería *DHT.h*, y se define el pin de conexión del sensor y el modelo del sensor.

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
```

Se debe definir una variable DHT para la comunicación con el sensor.

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

En la función de configuración, *void setup()*, se inicia el sensor. Mientras, que en la función *void loop()* se obtienen las lecturas de temperatura y humedad.

D.3 Configuración y programación del sensor de luz digital BH1750

El módulo BH1750 mostrado en la Figura D.3, es un sensor de luz digital con comunicación por I2C, con la posibilidad de seleccionar 2 direcciones. Este sensor entrega automáticamente el valor en lux (1 – 65535 lx) [40].



Figura D.3. Sensor de luz digital BH1750

La Tabla D.2 muestra la conexión de los pines del sensor BH1750 con la placa Arduino. La dirección del módulo varía dependiendo del estado del pin ADD, es decir, si este se conecta a GND, la dirección es 0x23; caso contrario, si se conecta a VCC la dirección será 0x5C.

Tabla D.2. Conexión de los pines del sensor BH1750

Pin BH1750	Arduino Uno
ADDR	A3
SDA	A4
SCL	A5
GND	GND
VCC	3.3V

- Programación del sensor BH1750

En el sketch del Arduino IDE se incluimos las librerías *BH1750FVI.h* y *Wire.h*, además se crea un objeto del tipo BH1750FVI.

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750FVI.h>
BH1750FVI LightSensor;
```

En la función de configuración, se inicia el objeto del sensor, además se elige su dirección con la función “SetAddress()” y su modo de trabajo con “SetMode()”. En la función *void loop()* obtenemos el valor de luxes medidos.

```
void setup() {
  LightSensor.begin();
  LightSensor.SetAddress(Device_Address_H); //Address 0x5C
  LightSensor.SetMode(Continuous_H_resolution_Mode);
  ... }
```

D.4 Configuración y programación del módulo lector RFID RC522

El chip MFRC522 mostrado en la Figura D.4, es un integrado de lectura/escritura operado a una frecuencia de 13.56 MHz. Está diseñado para la comunicación sin contacto con tarjetas “ISO/IEC 14443 A/MIFARE” [41]. Se puede comunicar por diferentes protocolos como: SPI, UART o I2C.

- Protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface)

Es un protocolo de datos en serie síncrono para la comunicación de uno o más dispositivos periféricos rápidamente en distancias cortas. En una conexión SPI siempre hay un dispositivo master que controla los dispositivos periféricos. Normalmente existen tres líneas comunes para todos los dispositivos [42]:

- MISO (Master In Slave Out). La línea de esclavo para el envío de datos al maestro.
- MOSI (Master Out Slave In). La línea de maestro para el envío de datos a los periféricos.
- SCK (Serial Clock). Los impulsos de reloj que sincronizan la transmisión de datos generada por el maestro.

Y una línea específica para la selección de cada dispositivo:

- SS (Slave Select). El pin en cada dispositivo que el maestro puede utilizar para activar y desactivar los dispositivos específicos.

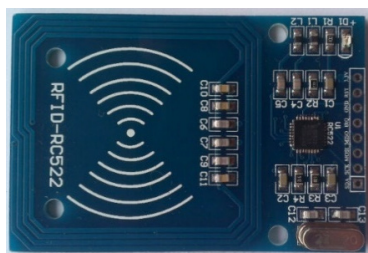


Figura D.4. Módulo lector RFID RC522

Cuando el pin SS de un dispositivo está en bajo (0V), éste se comunica con el maestro. Cuando está en alto (5V), el dispositivo se encuentra desactivado, es decir, el maestro no lo toma en cuenta. Esto permite tener múltiples dispositivos SPI que comparten las mismas líneas MISO, MOSI y CLK [42].

La Tabla D.3 muestra la conexión de los pines del módulo RFID RC522 con la placa Arduino.

Tabla D.3. Conexión de los pines del lector RFID-RC522

Señal	Pin RFID RC522	Arduino Uno
SDA (SS)	1	4
SCK	2	13
MOSI	3	11
MISO	4	12
IRQ	5	-----
GND	6	GND
RST	7	6
3.3V	8	3.3V

- Programación del módulo RFID RC522

En el sketch del Arduino IDE se incluyen las librerías *MFRC522.h* y *SPI.h*, además se crea un objeto del tipo MFRC522 [43] y se definen los pines para la selección del dispositivo SAD y reset RST.

En la función de configuración se inicia la comunicación SPI y el objeto MFRC522.

```
void setup() {  
  SPI.begin();  
  nfc.begin();  
}
```

En la función *void loop()* se obtiene el valor serial de la tarjeta RFID y según su número serial se procede a realizar una función predeterminada.

D.5 Configuración y programación del sensor de movimiento PIR

La Figura D.5 muestra el sensor infrarrojo pasivo (PIR, por sus siglas en inglés), el cual detecta cambios en los niveles de radiación infrarroja que recibe.



Figura D.5. Sensor de movimiento PIR

La Tabla D.4 muestra conexión de los pines del sensor PIR con la placa Arduino.

Tabla D.4. Conexión de los pines del sensor de movimiento PIR

Pin PIR	Arduino Uno
GND	GND
VCC	5V
OUT	3 (cualquier pin digital)

- Programación del sensor de movimiento PIR

La obtención de la señal proveniente del sensor PIR no necesita incluir ninguna librería. En el sketch del Arduino IDE se inicia con la creación de constantes que harán referencia a los pines del sensor.

En la función de configuración se coloca como entrada al pin conectado a la señal

del sensor de movimiento. En la función *void loop()* se hace la lectura de la señal del sensor y según sea necesario se procede a ejercer alguna función.

```
void loop(){
    estado= digitalRead(pinSensor); //se lee el estado del sensor PIR
    if(estado==HIGH){    //si hay movimiento
        Serial.println("Movimiento detectado");
    } else {              //no hay movimiento
        Serial.println("Sin movimiento");
    }
}
```

D.6 Configuración y programación del control remoto IR

La Figura D.6 muestra el control remoto IR con su módulo receptor, el cual está basado en el protocolo NEC, su rango de control está por encima de los 8 metros y la frecuencia portadora IR es de 38KHz [44]. El control remoto consta de 17 botones.



Figura D.6. Control remoto IR y módulo receptor

La Tabla D.5 muestra la conexión de los pines del módulo receptor IR con la placa Arduino.

Tabla D.5. Conexión de los pines del módulo receptor IR

Pin receptor IR	Arduino Uno
GND	GND
VCC	5V
OUT	8 (cualquier pin digital)

- Programación del control remoto IR y módulo receptor

En el sketch del Arduino IDE se incluyen la librería *IRremote.h*, y se declaran dos objetos, uno del tipo “*IRrecv*” para referenciar al receptor y otro el tipo “*decode_results*” que contendrá los resultados; además se define el pin por el que se obtendrá la señal del receptor IR [45].

```
#include "IRremote.h"
IRrecv irrecv(receiver); // creación de la instancia de 'irrecv'
```

```
decode_results results;    // creación de la instancia de 'decode_results'  
int receiver = 2;          // Pin de señal del receptor IR
```

En la función de configuración se inicia el receptor IR. En la función *void loop()* se comprueba si se ha recibido alguna señal IR del control remoto; de ser así se llama a una función que compara el valor hexadecimal obtenido.

En la función “*traducirIR()*” se compara el valor captado por el receptor IR con los valores hexadecimales correspondientes a cada tecla.

```
void traducirIR(){  
  switch(results.value) {  
    case 0xFF629D: Serial.println(" FORWARD"); break;  
    case 0xFF22DD: Serial.println(" LEFT"); break;  
    case 0xFF02FD: Serial.println(" -OK-"); break;  
    case 0xFFC23D: Serial.println(" RIGHT"); break;  
    case 0xFFA857: Serial.println(" REVERSE"); break;  
    case 0xFF6897: Serial.println(" 1"); break;  
    case 0xFF9867: Serial.println(" 2"); break;  
    case 0xFFB04F: Serial.println(" 3"); break;  
    .  
    .  
    .  
    default: Serial.println(" otro botón ");  
  } // fin case  
  delay(100);  
} //fin del método traducirIR
```

D.7 Configuración y programación del módulo relé

Un relé es un interruptor de accionamiento eléctrico. La Figura D.7 incluye cuatro relés cada uno tiene tres terminales:

- COM - Conexión común. Es la terminal central.
- NO - Normalmente abierto. Actúa como un interruptor, cuando se activa el módulo de relé, cierra el circuito y se alimenta la carga.
- NC - Normalmente cerrado. Siempre está en contacto con COM, cuando se activa el relé se abre el circuito.

El módulo relé permite combinar la potencia de procesamiento del Arduino a los dis-

positivos que utilizan más alta intensidad y tensión. Lo hace proporcionando cuatro relés que son estimados para 7A a 28V DC o 10A a 125V AC [46]. Cada pin de accionamiento, son activado mediante entradas en bajo (0V) desde Arduino.

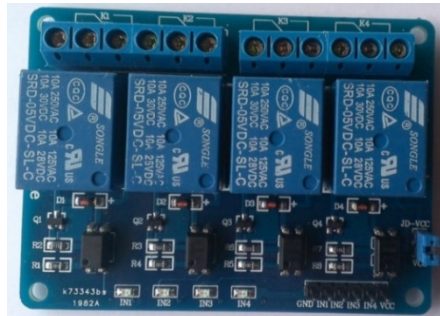


Figura D.7. Módulo relé de cuatro canales compatible con Arduino

La Tabla D.6 muestra la conexión de los pines del módulo relé de 4 canales se con la placa Arduino.

Tabla D.6. Conexión de los pines del módulo relé de 4 canales

Pin módulo Relé	Arduino Uno
GND	GND
VCC	5V
COM	120V (fuente externa)
IN1	31
IN2	33
IN3	35
IN4	37

La Figura D.8 muestra la etapa de potencia en el módulo relé de 4 canales.

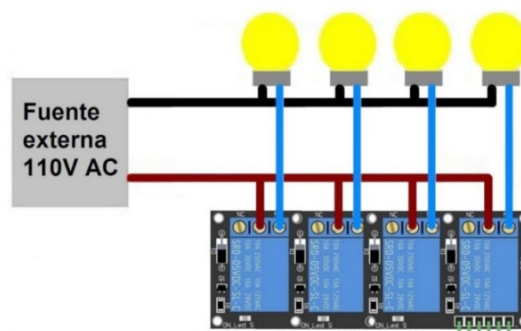


Figura D.8. Módulo relé de cuatro canales compatible con Arduino

- Programación del módulo relé de 4 canales

La comunicación del módulo relé con la placa de Arduino no requiere de librería adicional, solamente cambiar el estado de los pines conectados, “LOW” (0V) o “HIGH” (5V). En el sketch del Arduino IDE inicialmente se definen los pines de los relés conectados.

En la función de configuración se configuran los pines como salidas y se inician los relés en estado alto. En la función *void loop()* se realiza la acción deseada, e.g. se puede encender y apagar las luces incandescentes, accionando el relé correspondiente.

```
void loop(){  
  digitalWrite(RELAY1,LOW);      // Se enciende el relay 1  
  delay(2000);                  // Se espera 2 segundos  
  digitalWrite(RELAY1,HIGH);     // Se apaga el relay 1  
}
```

D.8 Configuración y programación de la pantalla táctil TFT LCD 2.8” para Arduino

La Figura D.9 muestra la TFT LCD 2.8” táctil, es una pantalla resistiva y se conecta directamente a la placa de Arduino, facilitando la implementación de aplicaciones gráficas interactivas. Además, integra un socket para memoria micro SD donde se pueden almacenar imágenes para ser visualizadas en la pantalla. También incorpora un circuito para 240RGB x320 píxeles y en un panel TFT de 262K colores.



Figura D.9. Pantalla táctil LCD TFT 2.8”

El valor por defecto de la pantalla táctil TFT de 2.8” con driver LGDP4535 tiene el punto cero (0,0), ubicado en la esquina inferior derecha. Sin embargo, en la biblioteca de la pantalla táctil se ha agregado capacidad de rotación [47].

La conexión de la pantalla con el Arduino Mega 2560 simplemente consiste en colocarla sobre la misma, fijándose en que coincidan principalmente los pines de 3.3V y 5V.

- Configuración del shield y librerías necesarias.

Para poder usar todas las funciones del shield, necesitamos varias librerías con

algunas modificaciones de código que se han realizado para adaptarle a la TFT implementada [48]:

- Librería Adafruit_GFX. Esta librería de Adafruit proporciona el código necesario para la realización de gráficos en la pantalla (puntos, círculos, líneas, etc.)
- Librería TouchScreen(Modificada). Librería que se encarga de traducir e interpretar las coordenadas, para poder trabajar con el panel táctil resistivo de 4 hilos que incluye la shield, esta librería se ha modificado para la compatibilidad con el driver LGDP4535 nombrandola zTouchScreen .
- Librería SD. Es la librería que incluye el entorno de Arduino por defecto para el acceso y comunicación con tarjetas SD, o MicroSD.
- Librería SPI. Librería útil para la comunicación entre la tarjeta SD o MicroSD con el Arduino a través del bus SPI.
- Librería TFT-LGDP4535. Librería principal para el correcto funcionamiento de la pantalla táctil con el driver LGDP4535.

Para un mejor desempeño de la pantalla touch se debe calibrar sus límites.

- Compatibilidad de la pantalla TFT LCD 2.8" con el Arduino Mega 2560

Si se desea usar el Arduino Mega 2560, se debe modificar el archivo LGDP4535.cpp de la librería LGDP4535, seleccionando la placa Arduino correcta que se utilizará. Además, se debe modificar el archivo "SdFatConfig.h" de esta librería como se indica en [49].

- Programación de la pantalla táctil LCD TFT 2.8"

Incluimos las librerías *Adafruit_GFX*, *LGDP4535*, *zTouchScreen*, *SdFat* y *SPI*. Posteriormente se crea una instancia del tipo LGDP4535, se definen los 4 pines necesarios para el panel táctil y el valor calibrado para la pantalla. Además, se instancia un objeto del tipo TouchScreen para el control de la pantalla. Finalmente se define el pin correspondiente al "chip select" del bus SPI para la conexión con la tarjeta SD.

```
LGDP4535 tft;
#define MINPRESION 10           //mínima presión
#define MAXPRESION 1000        //máxima presión
TouchScreen ts = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);
#define SD_CS 10
```

En la función de configuración se resetea el TFT y se inicia la pantalla con los parámetros necesarios para su correcta funcionalidad.

```
void setup(void) {
```

```
tft.reset();
ts.InitVariable(2, 240, 320, TS_MINX, TS_MAXX, TS_MINY, TS_MAXY, MINPRE
SION, MAXPRESION)
}
```

D.9 Configuración y programación del módulo transceptor nRF24L01

Estos módulos integran un completo transceptor RF de 2,4GHz de radio, sintonizador de RF, y una interfaz SPI de alta velocidad para el control de la aplicación. La alimentación de estos módulos debe contar con la suficiente capacidad de corriente. Es recomendable conectar un capacitor de 3,3µF a 10µF paralelo a su fuente de alimentación [50]. La Figura D.10 muestra los módulos transceptores nRF24L01.

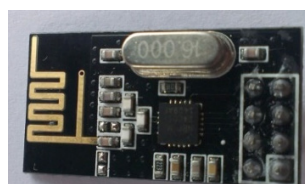


Figura D.10. Módulo transceptor nRF24L01

La Tabla D.7 muestra la conexión de los pines del módulo nRF24L01 con la placa Arduino, el pin IRQ no es utilizado comúnmente en las aplicaciones desarrolladas.

Tabla D.7. Conexión de los pines del módulo nRF24L01

Señal	Pin módulo RF	Arduino Uno	Arduino Mega 2560
GND	1	GND	GND
VCC	2	3.3V	3.3V
CE	3	9	48
CSN	4	10	53
SCK	5	13	52
MOSI	6	11	51
MISO	7	12	50
IRQ	8	-----	-----

- Programación del módulo transceptor nRF24L01

Se incluyen las librerías RF24 y la SPI para su comunicación, además se define el pipe de transmisión y se crea el objeto del tipo RF24.

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
```

```
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;  
RF24 radio(9, 10);
```

En la función de configuración se inicia el radio de comunicación y se abre el canal de transmisión.

```
radio.begin();  
radio.openWritingPipe(pipe);  
radio.startListening();
```

En la función *void loop()* se transmite hacia el otro módulo con la función *write* con parámetros de dato y su longitud y se hace la lectura con la función *read* con iguales parámetros.

El funcionamiento del sistema respecto la comunicación inalámbrica entre las dos placas de Arduino depende de la creación inicial de un radio de comunicación como:

```
RF24 radio(pin_CE, pin_CSN);
```

El pin_CE y el pin_CSN hacen referencia a los pines digitales del Arduino que se encuentran conectados a las señales CE y CSN del módulo nRF24L01 respectivo. Además, es necesario especificar el “pipe” que es el canal a utilizar para la comunicación, éste debe ser del tipo *uint64_t*, entero sin signo de 64 bits, por ejemplo:

```
const uint64_t pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;
```

Antes de enviar datos a través del módulo nRF24L01 se establece la dirección del receptor con el método:

```
radio.openWritingPipe (pipe);
```

Por último el sistema procede a enviar los datos con el método “*radio.write (& text, sizeof (text));*”, donde el primer argumento es la variable que contiene los datos a enviar; mientras que el segundo argumento es el número de bytes que se transmitirán.

En la parte del receptor es el mismo principio, sin embargo, para determinar la dirección con la que recibe los datos el sistema utiliza el método:

```
radio.openReadinPipe (0, pipe);
```

En este método el primer argumento hace referencia al número de secuencia, se puede crear 6 secuencias que respondan a diferentes direcciones; el segundo argumento es la dirección por la que recibe los datos. Posteriormente el sistema habilita la recepción

de los datos con el método:

```
radio.startListening ();
```

El sistema se encuentra constantemente comprobando si han llegado datos a la dirección del receptor con el método: “radio.available ();” el cuál devuelve un valor booleano de verdadero en caso de recibir algún dato. Finalmente, el sistema hace una lectura de los datos recibidos mediante el método:

```
radio.read (& text, sizeof (text));
```

El primer argumento de éste método hace referencia a un indicador de la variable que almacenará los datos recibidos, en cambio el segundo argumento es el tamaño de bytes de la misma variable.

ANEXO E: Capturas del código programado para el SRCV

```
<script type="text/javascript">
    // Prueba de compatibilidad del navegador
    window.SpeechRecognition = window.SpeechRecognition ||
    window.webkitSpeechRecognition ||
    null;

    //Caso si es que no soporta la API DE VOZ
    if (window.SpeechRecognition === null) {
        document.getElementById('unsupported').classList.remove('hidden');
    }else {
```

Figura E.1. Compatibilidad del navegador con la API de reconocimiento

```
// False > Detiene el reconocedor ... True > No deja de escuchar, incluso si el usuario calla
recognizer.continuous = true;
```

Figura E.2. Modo de reconocimiento continuo

```
////////// Llamada a las acciones de resultado del reconocimiento //////////

recognizer.onresult = function(event){
    transcription.textContent = " ";
    for (var i = event.resultIndex; i < event.results.length; i++) {
        if(event.results[i].isFinal){
            transcription.textContent = " ";
            transcription.textContent = event.results[i][0].transcript;
        }
    }
}
```

Figura E.3. Sub método *onresult*

```
////////// Limitamos el número de caracteres que escucha y se reconoce como comando //////////

var dv = document.getElementById("transcription"); /* Referencio al DIV en cuestion */
var len = 50; /* Determinamos un número promedio del ancho de cada carácter */
var txt = dv.innerHTML.toString(); /* Obtengo el texto del DIV */
var ltxt = txt.length; /* Obtengo la longitud del texto */
txt = txt.substr(0, len) /* Corto el texto */
if (ltxt > len) { /* Si la longitud original es mayor que la longitud resultante */
    dv.innerHTML = txt; /* Asigno el texto cortado al DIV */
}
}
```

Figura E.4. Limitación caracteres en el resultado del reconocimiento

```
if (txt.slice(0,7) == "control"){ // Reconocemos que la entrada es un comando
    var res = txt.slice(8);
    dv2.innerHTML = res; /* Asigno texto de comando reconocido */
    comando(res); // Llamo a la función que ejecutará el comando válido
} else {
    document.getElementById("alert-box warning").style.display = 'none';
}
```

Figura E.5. Validación de entrada de voz de un comando

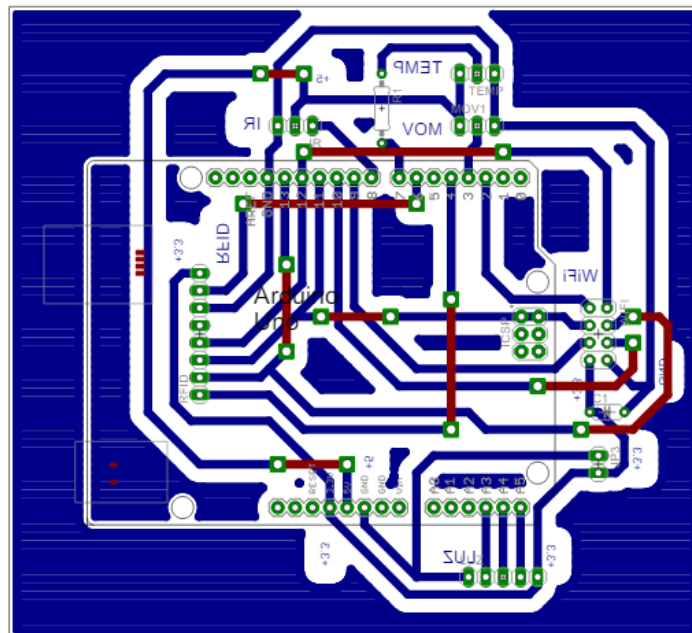
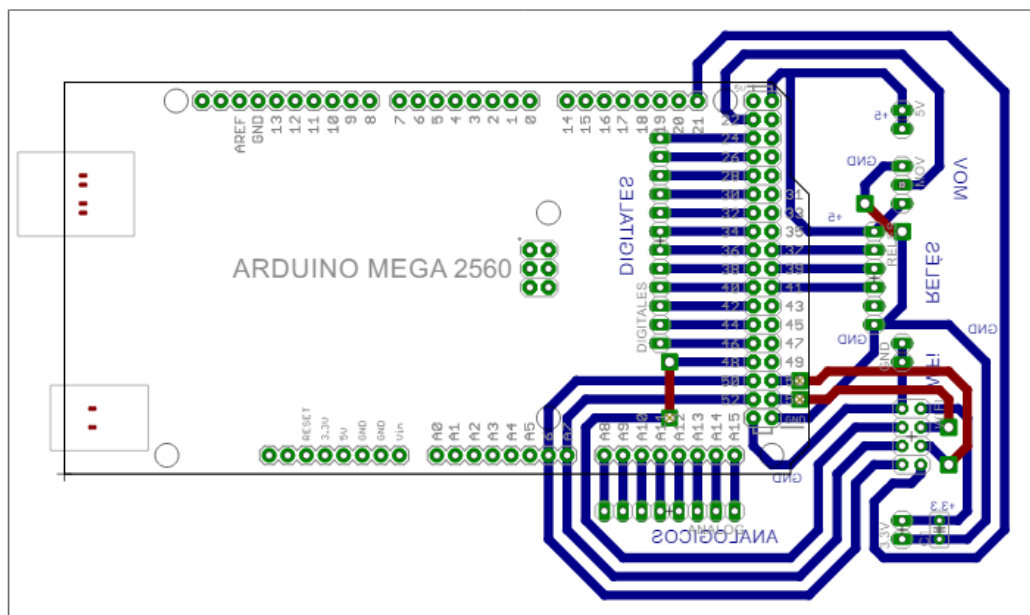
```
function comando(contenido){
switch (contenido) {
case "encender luces sala":
    llamarDescarga();
    var com = document.getElementById("ejec"); /* R
    com.innerHTML = contenido;
    break
case "Apagar luces sala":
    llamarDescarga();
    var com = document.getElementById("ejec"); /* R
    com.innerHTML = contenido;
    break
case "encender luces cocina":
    llamarDescarga();
    var com = document.getElementById("ejec"); /* R
    com.innerHTML = contenido;
    break
case "Apagar luces cocina":
    llamarDescarga();
    var com = document.getElementById("ejec"); /* R
    com.innerHTML = contenido;
    break
case "encender luces dormitorio":
    llamarDescarga();
    var com = document.getElementById("ejec"); /* R
```

Figura E.6. Búsqueda del comando válido correspondiente y llamada a función de descarga

```
function descargarArchivo(contenidoEnBlob, nombreArchivo) {
    var reader = new FileReader();
    reader.onload = function (event) {
        var save = document.createElement('a');
        save.href = event.target.result;
        save.target = '_blank';
        save.download = nombreArchivo || 'archivo.dat';

        var clicEvent = new MouseEvent('click', {
            'view': window,
            'bubbles': true,
            'cancelable': true
        });
        save.dispatchEvent(clicEvent);
        (window.URL || window.webkitURL).revokeObjectURL(save.href);
    };
    reader.readAsDataURL(contenidoEnBlob);
};
```

Figura E.7. Función principal para la descarga del archivo con el comando válido

ANEXO F: Diseño de placas para el Arduino Uno, Arduino Mega 2560 y circuito de dimerización

Figura F.1. Diseño de placa para Arduino Uno

Figura F.2. Diseño de placa para Arduino Mega 2560

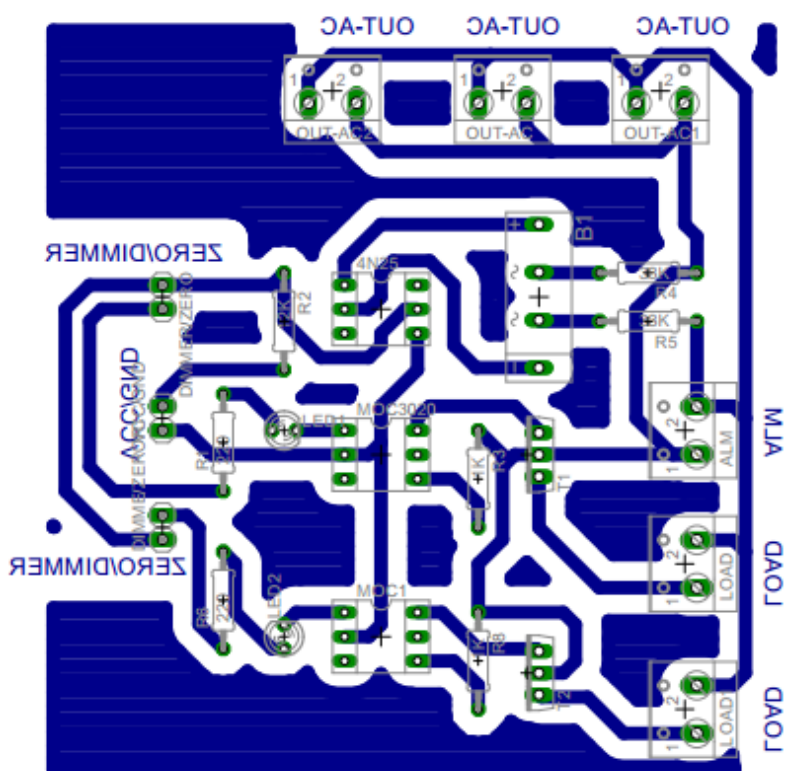


Figura F.3. Diseño de placa para el circuito de dimerización

BIBLIOGRAFÍA



-
- [1] RIADIS, “La situación de las personas con discapacidad en América Latina y El Caribe | Riadis | Red Latinoamericana de Organizaciones No Gubernamentales de Personas con Discapacidad y sus Familias.” [Online]. Available: <http://www.riadis.org/recursos/declaracoes-riadis/la-situacion-de-las-personas-con-discapacidad-en-america-latina-y-el-caribe/>. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [2] C. L. y C. de D. (CELADE), “Los adultos mayores en América Latina y el Caribe: datos e indicadores,” Edición Espec. con ocasión la II Asam. Mund. Nac. Unidas sobre Envejec. Madrid 2002, pp. 0–79, 2002.
- [3] CONADIS, “Registro Nacional de Discapacidades,” Regist. Nac. Discapacidades, p. 1, 2014.
- [4] “Barreras sociales afectan a personas discapacitadas :: Ecuadorinmediato.” [Online]. Available: http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=59294&umt=barreras_sociales_afectan_a_personas_discapacitadas. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [5] M. I. Elgueta, “La discapacidad y sus barreras en la sociedad.” [Online]. Available: <http://www.iniciativat.com/noticias/59-necesidades-especiales-y-atencion-temprana/1354-la-discapacidad-y-sus-barreras-en-la-sociedad.html>. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [6] A. Corbalán, “BARRERAS ARQUITECTÓNICAS | ACCESIBILIDAD GLOBAL,” 2010. [Online]. Available: <http://www.accesibilidadglobal.com/2010/07/la-definicion-de-una-barra.html>. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [7] J. Gaona, “Calificación a personas con discapacidad, Ecuador: 2013 - 2014.” [Online]. Available: <https://public.tableau.com/profile/javier.gaona#!/vizhome/DICAPACIDA-DESECUADOR/Discapacidades>. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [8] F. Lattanzio, A. M. Abbatecola, R. Bevilacqua, C. Chiatti, A. Corsonello, L. Rossi, S. Bustacchini, and R. Bernabei, “Advanced Technology Care Innovation for Older People in Italy: Necessity and Opportunity to Promote Health and Wellbeing,” *J. Am. Med. Dir. Assoc.*, vol. 15, no. 7, pp. 457–466, 2014.
- [9] A. Recuero, “La domótica como medio para la vida independiente de discapacitados y personas de la tercera edad,” no. c, p. 5, 1998.



-
- [10] F. Srl, C. T. Centre, and C. Foundation, "HOPE - Smart HHome for the elderly PPeople," 2010.
- [11] G. Hernán Paz Penagos, V. L. W. Darío Castellanos Tache, Ronald Ferney Alarcón Ballesteros, L. Velandia, Ángela Rocío Laverde Cañón, Juan Carlos Rodríguez Calderón, and A. R. Fosca, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DOMÓTICA PARA UN LABORATORIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA," vol. 1, 2006.
- [12] M. Barrera Durango, N. Londoño Ospina, J. Carvajal, and A. Fonseca, "Análisis y diseño de un prototipo de sistema domótico de bajo costo/Analysis and design of a low cost home automation prototype system - ProQuest Engineering Collection - ProQuest," pp. 117–128, 2012.
- [13] J. P. B. Asmal and W. G. F. Neira, "APLICACIONES MULTIMEDIA PARA CONTROL DE UN SISTEMA DOMÓTICO ORIENTADO A PERSONAS CON DISCAPACIDAD," 2013.
- [14] F. Baig, S. Beg, and M. F. Khan, "Controlling Home Appliances Remotely through Voice Command," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 48, no. 17, pp. 975–888, 2012.
- [15] "Definición de Domótica » Concepto en Definición ABC." [Online]. Available: <http://www.definicionabc.com/tecnologia/domotica.php>. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [16] I. Minchala A., "Curso Domótica LCN." .
- [17] S. Junestrand, X. Passaret, and D. Vázquez, *Domótica y hogar digital*. Editorial Paraninfo, 2004.
- [18] J. L. Ryan, "Home automation," *Electron. Commun. Eng. J.*, vol. 1, no. 4, p. 185, 1989.
- [19] J. Antonio, "Domótica e Inmótica," 2010.
- [20] P. J. Madero Serrano, "Domótica y aplicaciones para el hogar." pp. 1–14.
- [21] I. E. Tiscornia and I. Ariel, "La vivienda inteligente," pp. 89–160, 2014.
- [22] J. M. H. Moya and J. M. Huidobro, *Redes y servicios de telecomunicaciones*. Editorial Paraninfo, 2006.

-
- [23] L. Iberica, "Descripción del sistema LCN."
- [24] "Web oficial de Arduino." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [25] D. Shiffman, "Interview with Casey Reas and Ben Fry." [Online]. Available: <http://rhizome.org/editorial/2009/sep/23/interview-with-casey-reas-and-ben-fry/>. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [26] "Wiring." [Online]. Available: <http://wiring.org.co/>. [Accessed: 01-Feb-2016].
- [27] "Arduino - Arduino Board Uno." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [28] "Arduino - Arduino Board Mega 2560." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [29] A. Ruiz and F. Rojas, "Despliegue de la función calidad (qfd)," Univ. Pontif. Comillas-de comillas, p. 32, 2009.
- [30] E. Yacuzzi and F. Martín, "QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS," pp. 1–37.
- [31] E. S. Olaya Escobar, C. J. Cortés Rodríguez, and O. G. Duarte Velasco, "Despliegue de la función calidad (QFD): beneficios y limitaciones detectados en su aplicación al diseño de prótesis mioeléctrica de mano," Ing. e Investig., vol. 57, no. 57, pp. 30 – 38, 2005.
- [32] G. Shires and H. Wennborg, "Web Speech API Specification." [Online]. Available: <https://dvcs.w3.org/hg/speech-api/raw-file/tip/speechapi.html#dfn-onspeechstart>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [33] P. C. NETO, "Web Speech API – Reconhecimento de voz com JavaScript." [Online]. Available: <http://tableless.com.br/web-speech-api-reconhecimento-de-voz-com-javascript/>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [34] L. Transducers, "AC Current transformer TT 100-SD," pp. 3–5.
- [35] C. de información ISSENDORFF/LCN, "Tabla de teclas LCN," vol. 3, p. 100.



-
- [36] ISSENDORFF/LCN, "LCN-PCHK," p. 188, 2000.
- [37] ISSENDORFF/LCN, "Presentación - LCN Visualización." .
- [38] ISSENDORFF/LCN, "Visualización LCN-GVS," PhD Propos., vol. 1, 2015.
- [39] D. Uk, "Temperature Sensor DHT 11 Humidity & Temperature Sensor," DHT11 Datasheet, 2010.
- [40] R. Semiconductor, "Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC," no. 09046, pp. 1–14, 2009.
- [41] N. Semiconductors, "MFRC522 Standard 3V MIFARE reader solution Datasheet," no. September, pp. 95–150, 2014.
- [42] "Arduino - SPI." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [43] "RC522SerialCheck.ino - Google Drive." [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/0B9AZRKxOrL4adHBpN3BLMjRBaHc/edit?pli=1>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [44] aixin opto-electrical Technology, "Datasheet Infrared Receiver Module," pp. 0–5, 2007.
- [45] "arduino-info - IR-RemoteControl." [Online]. Available: <https://arduino-info.wikispaces.com/IR-RemoteControl>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [46] "Arduino 4 Channel Relay Module | Henry's Bench." [Online]. Available: <http://henrys-bench.cpnfatz.com/henrys-bench/5-volt-4-channel-arduino-relay-module-user-manual/>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [47] "240x320 2.8" TFT Shield driver 4535 for Arduino | Cee'z Blog." [Online]. Available: <http://ceezblog.info/2015/04/20/240x320-28-tft-shield-driver-4535-for-arduino/>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [48] "TFT LCD Touch 2.4" Shield para Arduino UNO." [Online]. Available: <http://electroni-cavm.net/2015/03/05/tft-lcd-touch-2-4-shield-para-arduino-uno/>. [Accessed: 02-Feb-2016].

-
- [49] “Touch Screen on the Arduino Mega 2560 | misc.ws.” [Online]. Available: <http://misc.ws/2014/06/26/touch-screen-on-the-arduino-mega-2560/>. [Accessed: 02-Feb-2016].
- [50] “arduino-info - Nrf24L01-2.4GHz-HowTo.” [Online]. Available: <https://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz-HowTo>. [Accessed: 02-Feb-2016].